

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені Ігоря Сікорського»
(повне найменування вищого навчального закладу)

ІНЖЕНЕРНО - ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматизації хімічних виробництв
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ А.І.Жученко
«___» _____ 20_ р

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки **6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**

на тему: «Автоматизація технологічної системи для алкілування бензолу
пропіленом у рідкій фазі»

Виконала: студентка 4 курсу, групи ЛА-52
(шифр групи)

_____ Клуста Тетяна Володимирівна _____
(прізвище, ім'я, по-батькові)

_____ (підпис)

Керівник _____ доцент Козаневич З.Я. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант Охорона праці _____ к.т.н, доцент Ковтун І.М. _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____ Начальник відділу КІА Білоха Т.О. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що в цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань
Студент _____
(підпис)

Київ - 2019 року

Додаток Д.2. ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення			Найменування	Кількість листів	Примітка	
1	A4				Завдання на дипломний проект	2		
2	A4	ДП 5207. 00.000 ПЗ			Пояснювальна записка	83		
3	A4	ДП 5207. 00.000			Д.1. Специфікація устаткування, виробів, матеріалів	7		
4	A4	ДП 5207. 00.000.00			Д.2. Відомість дипломного проекту	1		
5	A1	ДП 5207. 01.000 СхА			Схема автоматизації функціональна	1		
6	A2	ДП 5207. 02.000 СхЕ			Принципова електрична схема дистанційного керування електродвигунами_____	1		
7	A2	ДП 5207. 03.000 СхЕ			Монтажно-комутаційна схема до системи дистанційного керування та технологічних блокувань	1		
					ДП 5207 00.000.00			
		ПІБ	Підп	Дата				
Розробн.		Клуста Т.В.			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів	
Керівн.		Козаневич З.Я.				1	93	
Консульт.						НТУУ «КПІ» ім.		
Н/контр.		Кваско Е.М						

Зав.каф.	Жученко А.І				І.Сікорського Каф. АХВ Гр. ЛА-52
----------	-------------	--	--	--	--

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: Автоматизація технологічної системи для алкілювання бензолу пропіленом
у рідкій фазі

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інженерно-хімічний факультет
(повна назва)

Кафедра автоматизації хімічних виробництв
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ А.І.Жученко
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Клустій Тетяні Володимирівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Автоматизація технологічної системи для алкілування бензолу пропіленом у рідкій фазі _____,

керівник проекту Козаневич Звенислава Ярославівна, доцент _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «12» травня 2019 р. №1525

2. Термін подання студентом проекту _____

3. Вихідні дані до проекту температура бензолу, пропан-пропіленової фракції, алкілату, вода на охолодження; витрата пропан-пропіленової фракції, витрата води на охолодження, витрата бензолу, концентрація бензолу, пропан-пропіленової фракції, витрата парогазової суміші, витрата алкілату.

4. Зміст пояснювальної записки Технологічний процес алкілування бензолом пропіленом у рідкій фазі; математичне моделювання алкілятора; проектування системи автоматизації; охорона праці. _____

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема автоматизації технічної системи для алкілювання бензолу пропіленом у рідкій фазі; принципова електрична схема з дистанційного управління електродвигунами технологічного обладнання та системи аварійного захисту і технологічних блокувань; монтажно-комутаційна схема з'єднань до системи дистанційного управління електродвигунами та системи аварійного захисту і технологічних блокувань _____

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ковтун І. М., доцент, к.т.н.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Технологія процесу алкілювання бензолу пропіленом у рідкій фазі	25.03.2019	
2	Розробка проектної документації	2.04.2019	
3	Отримання математичної моделі алкілятора	10.04.2019	
4	Дослідження статичного режиму об'єкта	15.04.2019	
5	Дослідження динамічного режиму	04.05.2019	
6	Синтез системи керування	21.05.2019	
7	Розробка сигнального графу	24.05.2019	
8	Охорона праці	01.06.2019	

Студент

(підпис)

Клуста Т.В.
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

Козаневич З.Я.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект на здобуття ступеня бакалавра виконаний на тему «Автоматизація технологічної системи для алкілування бензолу пропіленом у рідкій фазі», містить 83 сторінок пояснювальної записки, 3 таблиці та 11 бібліографічних найменувань.

Метою проекту є створення і дослідження математичної моделі та системи керування технологічним процесом. Тобто розробка математичної моделі динаміки температури і концентрації алкілату на виході з алкілятора. Визначення динамічних характеристик каналів керування і збурення. Дослідження впливу допущення про порядок реакції (першого чи нульового) на динамічні характеристики каналів керування і збурення. Дослідження впливу цього допущення на параметри налаштування регуляторів і перехідні характеристики замкнутих систем регулювання. Розробка проектної документації та засобів безпеки на робочому місці і на виробництві в цілому.

Ключові терміни: АЛКІЛУВАННЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, КЕРУВАННЯ, ПАРАМЕТР, МОДЕЛЮВАННЯ, АЛКІЛАТОР, КАТАЛІЗАТОР, ПРОПАН-ПРОПІЛЕНОВА ФРАКЦІЯ, ДОПУЩЕННЯ, НАЛАШТУВАННЯ РЕГУЛЯТОРІВ, ПОРЯДОК РЕАКЦІЇ.

ABSTRACT

The diploma project for obtaining the bachelor degree is made on the topic "Automation of the technological system for the alkylation of benzene with propylene in the liquid phase", contains 83 pages of the explanatory note, 3 tables and 11 bibliographic titles.

The purpose of the project is to create and study a mathematical model and control system of the technological process. That is, the development of a mathematical model of temperature dynamics and the concentration of alkylate at the exit of the alkylator. Determination of dynamic characteristics of control channels and perturbations. Investigation of the influence of the assumption about the order of the reaction (first or zero) on the dynamic characteristics of control channels and perturbations. Investigating the influence of this assumption on the parameters of the regulators and transient characteristics of closed-loop control systems. Development of project documentation and safety equipment in the workplace and in the production as a whole.

Key terms: ALKILING, MATHEMATICAL MODEL, AUTOMATION, MANAGEMENT, PARAMETER, MODELING, ALKILATOR, CATALYST, PROPAN-PROPILEN FACTORY, ACCEPTANCE, SETTLEMENT OF REGULATORS, REACTION PROCEDURE.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС АЛКІЛУВАННЯ БЕНЗОЛУ ПРОПІЛЕНОМ У РІДКІЙ ФАЗІ	6
1.1 Технологія процесу алкілування.....	6
1.2 Основне обладнання.....	13
1.3 Існуючі математичні моделі процесу.....	17
1.4 Існуючі системи керування процесом та хімічним реактором	20
1.5 Процес алкілування як технологічний процес керування	23
1.6 Постановка задачі дослідження.....	27
2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ АЛКІЛУВАННЯ БЕНЗОЛУ ПРОПІЛЕНОМ У РІДКІЙ ФАЗІ	29
2.1 Постановка задачі моделювання.....	29
2.2 Моделювання динамічного режиму.....	34
2.2.1 Математична модель у розмірних величинах	36
2.2.2 Математична модель у відхиленнях	37
2.2.3 Перетворення за Лапласом та передатні функції	41
2.2.4 Перехідні характеристики.....	44
2.2.5 Дослідження впливу допущення на динамічні характеристики.....	45
2.3 Моделювання статичного режиму об'єкта.....	51
2.3.1 Моделювання статичного режиму об'єкта без допущення про нульовий порядок реакції.....	52
2.3.2 Моделювання статичного режиму об'єкта з допущенням про нульовий порядок реакції.....	54
2.4 Моделювання динамічних характеристик замкненої системи регулювання.....	57

					ЛП ЛА52.07.00.000 ПЗ		
Змн	Лис	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб		Клиста Т.В.			Автоматизація технологічної системи для алкілування бензолу пропіленом у рідкій фазі	Літ.	Арк.
Перев		Козаневич					2
Н.Контр.		Кваско Е.М.				НТУУ "КПІ", ІХФ, ЛА-52	
Затв.		Жученко А.І.					

2.4.1	Визначення параметрів налаштування ПІ-регулятора.....	57
2.4.1.1	Налаштування регулятора за допомогою бібліотеки MATLAB PID Tuner.....	58
2.4.1.2	Налаштування регулятора за допомогою бібліотеки MATLAB SISOTool.....	61
2.5.	Сигнальний граф для відображення динамічних характеристик технологічного об'єкта керування	66
3.	ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	68
3.1	Розробка схеми автоматизації технологічної системи для алкілування бензолу пропіленом у рідкій фазі.....	68
3.2	Розробка принципової електричної схеми з дистанційного управління електромоторами технологічного обладнання та системи аварійного захисту і технологічних блокувань	71
3.3	Розробка схеми монтажно-комутаційних з'єднань до системи дистанційного управління електромоторами та системи аварійного захисту і технологічних блокувань	73
4.	ОХОРОНА ПРАЦІ.....	74
4.1	Мікроклімат виробничого приміщення.....	74
4.2	Виробниче освітлення	76
4.3	Виробничий шум.....	76
4.4	Електробезпека	77
4.5	Пожежонебезпека.....	79
	Висновки.....	82
	Список літератури.....	83
	Додатки.....	84

Вступ

Сучасні технології алкілування представлені широким класом різноманітних промислових процесів, які, незважаючи на всі відмінності, мають принципову спільність механізму. Серед проблем загальних для всіх процесів алкілування (отримання компонентів бензину, етилбензолу, кумола, лінійних алкілбензолів (ЛАБ)), можна відзначити наявність супутніх побічних реакцій, що призводять до зниження селективності процесу і погіршення якості продукції, а також застосування на більшості діючих установок морально застарілих рідких кислотних каталізаторів, що призводить до більш швидкого зносу обладнання внаслідок корозії, а також високу небезпеку виробництва і необхідність суворо дотримуватися норм технологічного регламенту. При цьому перехід існуючих установок алкілування на сучасні тверді каталізatori часто виявляється економічно недоцільним через великі витрати на реконструкцію виробництва. Через це в даний час перед нафтопереробними заводами гостро стоїть проблема підвищення ефективності виробництва алкілата. Цю складну багатофакторну задачу можна вирішити із застосуванням методу математичного моделювання. Модель промислового реактора дозволяє з високою точністю прогнозувати поведінку досліджуваної системи при зміні технологічного режиму або складу сировини, а також проводити необхідну кількість досліджень без втручання в роботу установки.

Актуальність моделювання процесу алкілування бензолу пропіленом у рідкій фазі полягає в тому, що до теперішнього часу не було запропоновано єдиного підходу до моделювання багатокомпонентних промислових процесів алкілування. Існуючі на сьогоднішній день математичні моделі реакторів алкілування мають ряд характерних рис, які не дозволяють забезпечити вирішення завдання підвищення ефективності діючої промислової установки, а саме: більшість досліджень присвячено процесам алкілування на твердих каталізаторах, в той час як більша частина існуючих установок продовжує працювати на рідких кислотних каталізаторах; моделі описують кінетичні закономірності перетворень вуглеводнів для певного виду сировини, без урахування можливості зміни складу сировини і протікання побічних реакцій.

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						4
Зам.	Анк	№ док-м	Підпис	Дата		

Мета роботи полягає в підвищенні ефективності процесу алкілювання бензолу пропіленом у рідкій фазі з використанням методу математичного моделювання для прогнозування роботи установки і оптимізації технологічного режиму в умовах мінливого складу сировини.

Особлива увага приділена моделюванню динамічних режимів визначальних параметрів, як основи синтезу ефективних систем керування цим технологічним процесом.

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						5
Зам.	Анк	№ докum	Піппис	Дата		

1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС АЛКІЛУВАННЯ БЕНЗОЛУ

ПРОПІЛЕНОМ У РІДКІЙ ФАЗІ

1.1 Технологія процесу алкілування

Процес алкілування бензолу пропіленом в рідкій фазі виник ще на межі 40-х років XX століття, водночас саме тоді було реалізовано процес каталітичного крекінгу із застосуванням каталізаторів. Процес алкілування дозволяє утилізувати значну частину крекінгових газів. В результаті чого отримують суміш триметилпентан, з октановим числом з рівнем у 100 пунктів. Як висновок, процес алкілування є доповненням процесу каталітичного крекінгу. Тому, якщо зростають потужності крекінгу, так само ж зростають потужності і алкілування. На сьогодні цих потужностей нараховують 85 мільйонів тон за рік, тобто, це становить 15 % усього обсягу виробництва бензину, який виробляється у світі. Найбільша кількість таких установок алкілування зосереджена у США (там продуктивність становить 55 мільйонів тон у рік), а в Європі цей показник становить лише 12 мільйонів тон за рік. Тоді як у СРСР виробництво алкілату становило всього 0.7 мільйонів тон за рік.

В Україні в галузі нафтопереробки наявні лише три установки каталітичного крекінгу, їх загальна річна продуктивність не перевищує 4 млн тон. Ці установки зовсім не мають процесів алкілування, це негативно впливає на економічний і екологічний фактор. Оскільки за рахунок утилізації крекінгових газів, а саме бутан-бутенової фракції, можна було б отримувати близько 300-350 тисяч тон алкілату кожного року. А це, збільшило б бензиновий ресурс України на 700-800 тисяч тон щорічно.

Алкілування здійснюється різними шляхами і поділяється на окремі види. Це зумовлено використанням різних каталізаторів і кислот. До прикладу, алкілування з використанням сірчаної кислоти є більш безпечним, чим з використанням фтористоводня. Але, перевагою другого є те, що не потребується додаткова регенерація кислоти, і на одиницю цільової продукції використовується менша кількість каталізатора. Технологія алкілування з використанням сірчаної кислоти майже не змінилася за останні роки. Покращення процесу, зокрема, спрямовують на оптимізацію регенерації

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						6
Зам.	Анк	№ док-м	Підпис	Дата		

кислоти, а також зменшення її кількості у використанні. А от висока небезпека використання фтористоводневої кислоти зумовлена високою токсичністю і випаровуваністю. Тому внаслідок аварії на такому виробництві може загинути багато персоналу і нанести неминучі наслідки на довкілля. Однак, цей каталізатор є майже найдешевшим і найбільш активним, тому розробляються додаткові системи безпеки і більш ефективна система керування процесом. Є декілька добавок, які зменшують леткість і випаровуваність HF, що дозволяє зменшити кількість попадання каталізатора у навколишнє середовище, а також розроблені більш якісніші і герметичніші устаткування. Офіційно протестовані два різновиди добавок. Це продукти фірми «Техасо» та «UOP», які знаходяться у США, саме вони презентували технологію «ALCAD», це добавка в які не поданий хімічний склад, але зазначено, що це продукт взаємодії HF з амінами. Інші фірми, а саме «Phillips» та «Mobil», які теж знаходяться у США, розробили добавку, назва і склад якої також були не зазначені. Свою технологію вони назвали «ReVAR». Також, відомо, що фірма «Phillips» володіє патентами на процес алкілування з використанням фтористоводневої кислоти з додаванням сульфонів та сульфоланів. Новизною є використання двостадійної технології гомогенно-каталітичного алкілування. За рахунок того, що в першому реакторі задана кількість кислоти реагує з сумішшю вуглеводнів, яка містить n-бутени, з утворенням проміжної суміші під назвою вторбутиловий ефір. А сам алкілат утворюється у другому реакторі, внаслідок змішування суміші з першого реактора і додаючи задану кількість сірчаної кислоти та ізобутану. Двостадійна технологія сприяє покращення якості алкілату, внаслідок, збільшення його октанового числа на пару пунктів. Але використання ізобутану робить цей показник нижчим, через домінування полімеризації над утворенням трет-бутилового етеру. Тому що, замість пропену йде утворення диметилпентанів, які характеризуються низьким октановим числом. Зараз лише ведуться дослідження з використанням каталізатора на основі твердої фторводневодневої кислоти у вигляді полімерного комплексу.

У 1960-х роках були розглянути варіанти заміни рідких кислот на кислотні цеоліти і тверді суперкислоти. У середині 70-х років до вирішення проблеми

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						7
Зам.	Анк	№ док-м	Підпис	Дата		

вивчення алкілювання на твердих каталізаторах підключився Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України (ІБОНХ НАН України). Праці інституту співзвучні з дослідженнями інших авторів, які були спрямованні на заміну сірчаної та фтористоводневої кислот твердими каталізаторами.

Основними завданнями було дослідження синтезу твердих каталізаторів, оптимізація умов алкілювання, а також розкриття механізму реакції. А найголовніше – пошук найоптимальніших умов алкілювання. Схильність бутенів до олігомеризації та полімеризації на тих самих кислотних центрах, які ведуть алкілювання приводить випробування каталізаторів алкілювання до дуже непростой процедури. Для того щоб забезпечити запобігання процесу конденсації бутенів найефективнішим способом буде забезпечення значних співвідношень ізобутан/бутени в зоні конверсії.

Реакторне оформлення процесу. Найчастіше використовується проста техніка випробування. Найбільш поширеними є проточні системи, у яких термоактивований каталізатор змочують ізобутаном. Ізобутан-бутиленову фракцію подають на змочений шар з невисоким співвідношенням ізобутан/бутени. При цьому каталізатор працює задовільно лише декілька хвилин. Умови реакції є настільки неадекватні, що просто неможливо виявити специфіку дії одного чи іншого каталізатора, а також особливості перебігу заданої реакції. У 1973 році був запропонований автоклавний спосіб випробування, його використовують і досі. Сутність цього способу така, що на активований в автоклаві каталізатор напускають ізобутан. Найбільшою відмінністю та перевагою даного способу від попереднього є можливість вводити в автоклав значну кількість ізобутану порівняно з масою каталізатора, так як в попередньому способі є змога змочити тільки шар активованого каталізатора ізобутаном. При наступному дозуванні бутенів співвідношення ізобутан/бутени є дуже високим, навіть з тим, що бутени постійно відпрацьовуються. Найбільшим недоліком даного способу є те, що частини продуктів реакції залишаються на автоклаві і згубно діють на каталізатор. Найкращим на сьогодні вважається проточно-циркуляційний режим алкілювання з внутрішньореакторною циркуляцією ізобутану. Метод використовує дуже

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						8
Зам.	Анк	№ док-м	Підпис	Дата		

високі співвідношення ізобутан/бутени (до 5500 і вище) на шарі каталізатора за безперервного відводу продуктів реакції. При цьому каталізатор працює задовільно протягом кількох годин. А різниця між зразками різної природи і різних способів приготування можна виявити детально і чітко. Також можна виділити інші особливості перебігу заданого процесу.

Температура. Важливою фізичною характеристикою хімічної взаємодії є температура. Енергія активації цільової і побічної реакції алкілування олігомеризації олефінів є різною тому, буде різниця температурна залежність констант кожної з них, тому можна дійти висновку, що за певної температури співвідношення констант можна вивити оптимальне на користь алкілування. Було визначено, що ця температура сягає 80°C. Але були опубліковані праці в яких алкілування знаходиться в критичній області ізобутану. В основному показники є незначними або невизначеними, за винятком роботи, в якій за суперкритичних умовах були отримані результати, які можна порівняти з показниками сірчаноокислотного процесу. До того ж вказано, що каталізатор за повної конверсії працював 65 діб без значного падіння активності. Усупереч даної переваги, вчені не вказали ніяких умов роботи каталізатора і відповідно інформацію про сам каталізатор. Попри всіх зазначених рекомендаціях щодо поліпшення алкілування біля критичних параметрів ізобутану було помічено зниження ефективності самого каталізатора при наближенні до критичної температури під час дослідження у проточно-циркуляційному режимі. При зменшенні виходу цільової фракції C8 та зростанні C5-C7 та C9+ було виявлено, що при збільшенні температури відбувається погіршення роботи каталізатора. Можна зробити припущення, що при попаданні на шар каталізатора, ізобутан крекується, а олефінові складові отруюють активні центри, внаслідок цього збільшується концентрація продуктів алкілування. Дослідом зменшення концентрації цих продуктів у кип'ятильнику було доведено це припущення. І встановлено надвисоку залежність чутливості каталізатора до продуктів реакції. Дослідження реакції за проточно-циркуляційних умов допомогла встановити коливний характер її перебігу за одиницю часу за продуктами перетворення, а не тільки по концентрації бутенів в окремих ділянках каталізатора. До 1995 року це

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						9
Зам.	Анк	№ докум	Підпис	Дата		

явище не було належно трактованим. За допомогою дослідження коливної хемосорбції радикала 2.2.6.6-тетраметил-4-оксіпіперидин-1-оксиду та виявлення перемикального механізму цього явища коливність алкілування представлено через коливну конкуренцію коксу й ізобутану на поверхні каталізатора. Алкілування ізобутану бутенами вважається першою карбонній-іонною реакцією, для якої знайдена можливість реалізації коливного режиму попри відмінність від багаточисельних гомо- та гетерогенних оксидо-відновлювальних каталітичних коливних реакцій, як перебігають за різних умовах та механізмах. Отже, якщо коливність алкілування безпосередньо повторює коливність коксоутворення, то характер і природа дезактивація каталізатора, не виключено, що пошук методів продовження міжрегенераційного пробігу твердих каталізаторів може відкривати детальне дослідження коливного феномену.

Пошук твердофазних каталізаторів. Попри велику кількість твердофазних каталізаторів, немає жодного процесу який би використовував їх. На даний час впевнено можна вважати найкращими у застосуванні кислотні цеоліти типу фожазиту. Трішки поступаються їм суперкислотні зразки. Поточний стан дослідження при твердокислотному алкілування визначається хаотичністю щодо синтезованих і вже тестованих каталізаторах. Вони є різними за характером, показником кристалічності, діапазоном кислотності. Наприклад, функція Гаметта оцінюється від 3-4 до 12-13. Однак, час роботи каталізатора за який він відзначається ефективною роботою, відрізняється незначно, від декількох хвилин до кількох годин. Виключенням є тільки роботи ІБОНХ НАН України, тривалість якої вразі більша, за рахунок проточно-циркуляційного режиму.

В даній роботі застосовувався каталізатор хлористого алюмінію. Застосування даного каталізатора призводить до отримання кращих виходів, ніж застосування наприклад, тієї ж самої сірчаної кислоти. Хлористий алюміній сприяє конденсації таких з'єднань, які не вступають в реакцію під впливом інших агентів. Використання $AlCl_3$ у крекінг-процесі засноване перш за все на здатності цього реагенту розщеплювати вуглеводні з довгим ланцюгом на молекули меншого розміру, завдяки чому підвищується вихід бензину з нафти.

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						10
Зам.	Анк	№ докум	Підпис	Дата		

Наведемо технологічну схему системи для алкілювання бензолу пропіленом у рідкій фазі, яка розглядається у даній роботі:

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Арк
						11
Зам.	Арк	№ док-м	Підпис	Дата		

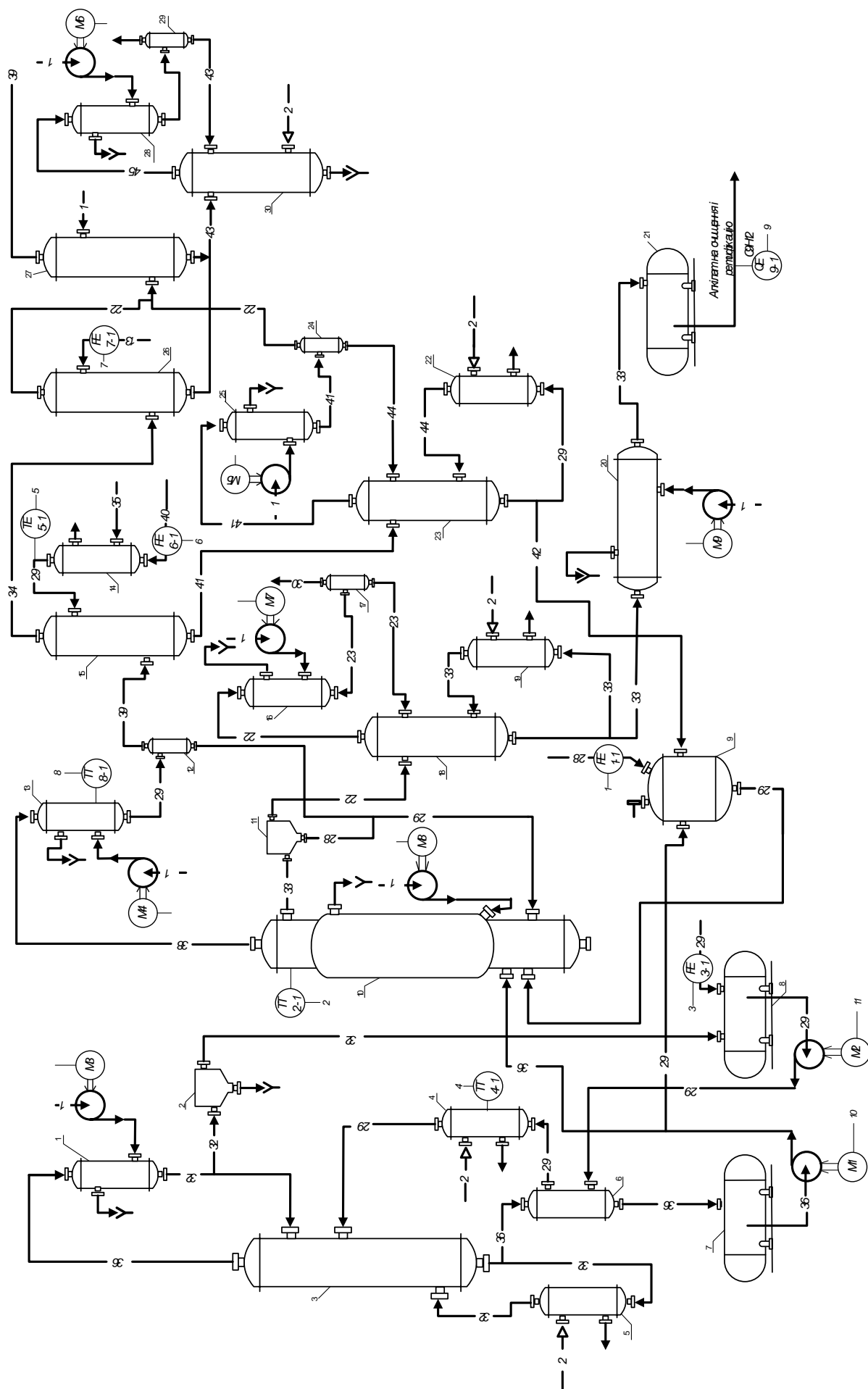


Рисунок 1.1 Схема автоматизації технологічної системи для ліквідування бензолу пропіленом у рідкій фазі

Зам.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ

Арк
12

Бензол і бензол на повернення із збірника 8 через теплообмінник 6 і підігрівник 4 подають на ректифікаційну колону 3. Пари, які відганяються з верхньої частини колони конденсуються у дефлегматорі 1; відділений в апараті 2 бензол перетікає в збірник 8. Із кубової частини ректифікаційної колони безперервно протікає зневоднений бензол (який містить 0.001-0.003 % води), який далі направляється на алкілування у апарат 10.

В цей же апарат подають каталізатор у вигляді комплексного з'єднання хлористого алюмінію з поліалкілбензолами. Порошкоподібний зневоднений хлорид алюмінію обробляють змішуванням в апараті 9 ПАБ і додають до суміші не велику кількість води .

Рідкі продукти реакції безперервно відбирають із верхньої частини алкілятора 10 на висоті 8 м і подають у відстійник , де осідають частини каталізатора , механічно захоплені рідиною. Із відстійника каталізатор повертається в нижню частину алкілятора , а з реакційної рідини відганяється пропан в колоні 18. Пропан із колони 18 відділяється в сепараторі 17 від рідини і поступає на промивку, а потім в цех піролізу. Кубова рідина колони 18 (алкілат) відводиться в холодильник 20 і далі поступає на очищення від домішок, які можуть викликати корозію при наступній ректифікації алкілата.

Гази які відходять із верхньої частини алкілятора 10 охолоджують до 25°C в конденсаторі 13 при цьому частина парів бензолу конденсується. Конденсат відділяється в сепараторі 12 від газів і повертається в нижню частину алкілятора . Гази направляються в абсорбційну колону 15 на вловлювання несконденсованих парів бензолу. В якості абсорбента застосовують охолоджену до 10 °C суміш ПАБ, яка поступає з ректифікаційної установки. Насичений бензолом і пропіленом абсорбент із нижньої частини абсорбера самотоком поступає в колону 23. Сконденсований бензол теж повертають у колону 23.

Пропан промивають водою в колоні 27. Кубову рідину із колони 23 направляють в апарат 9 для розчинення в ній каталізатора. Гази, які відходять з абсорбційної колони 15, поступають у нейтралізаційну колону 26, яка зрошує водним розчином лугу, а потім у промивну колону 27. Промиті гази представляють з себе майже чистий пропан, який використовують для піролізу.

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						13
Зам.	Анк	№ докум	Підпис	Дата		

Для запобігання забруднень природних водойм необхідно повністю видалити вуглеводи із стічних вод, які скидаються в каналізацію. Для цього відпрацьований луг із колони 26 і воду з колони 27 направляють у відпарну колону 30, яка обігрівается гарячим паром. Після відгонки вуглеводів кубову частину рідини із колони 30 скидають у каналізацію.

1.2 Основне обладнання

Для технологічної системи для алкілування бензолу пропіленом у рідкій фазі застосовується таке обладнання як: дефлегматор (4 шт.), роздільна посудина (1 шт.), ректифікаційна колона (1 шт.), підігрівник (1 шт.), кип'ятильник (3 шт.), теплообмінник (1 шт.), збірник бензолу (2 шт.), апарат для розчинення каталізатора (1 шт.), алкілатор (1шт.), відстійник (1 шт.), сепаратор (4 шт.), конденсатор-холодильник (1 шт.), розсільний холодильник (1 шт.), абсорбційна колона (1 шт.), депропанізатор (2 шт.), холодильник алкілату (1 шт.), збірник алкілату (1 шт.), нейтралізаційна колона (1 шт.), промивна колона (1 шт.), відпарна колона (1 шт.), насоси (13 шт.). Найголовніше обладнання розглянемо більш детально.

Алкілатор

Алкілатор – основний апарат технологічної схеми. Є колоною барботажного типу, заповнену рідкою реакційною сумішшю, що складається з бензолу і каталітичного комплексу. Через суміш барботує пропілен.

Алкілатори зазвичай виготовляють з сталі вуглецю у формі циліндрів колонного типу, який складається з 3 і більше царг(фрагментів), вони забезпечені сорочками для відведення тепла, яке виділяється внаслідок реакції. Захистом від корозії являються керамічні або діабазові плити. Футерованість зазвичай здійснюють з використанням непроникних органічною мастикою типу арзаміта або аспліта.

Алкілатор оточений сорочкою емальованої посудини колонного типу з відводом тепла після охолодження.

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						14
Зам.	Анк	№ докум	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 – Алкілатор футерований фторопластом

Дефлегматор

Важливо якісно очистити продукт від шкідливих домішок, цим і займається дефлегматор. Правда, виконує він тільки грубе попереднє очищення. Виглядає конструкція як вертикальна трубка, всередині або навколо якої рухається вода-охолоджувач. Використовується даний елемент для часткового відділення і видалення шкідливих домішок з пари.

Принцип дії пристрою заснований на різниці температур кипіння і випаровування речовин. Роблять прилади з різних матеріалів: скла, нержавійки, міді. Виглядати вони також можуть по-різному, але в основі лежить один з двох типів конструкції. В даній роботі застосовувався дефлегматор плівкового типу.

Плівковий (або прямоточний) дефлегматор



Рисунок 1.3. Плівковий дефлегматор

Являє собою пристрій у вигляді двох циліндрів різного діаметру. Менший знаходиться всередині більшого. На зовнішній посудині є 2 отвори для подачі та виведення води-охолоджувача. Вона рухається в щілині між трубками. У внутрішній циліндр надходить пар. Важкі фракції конденсуються і стікають по

Зам.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ

Арк

15

стінках вниз. Летючі домішки і спирт виходять через спеціальний отвір угорі. Плівковий дефлегматор буває сорочковий (з одним отвором для виходу пари) або кожухотрубчастий (з декількома).

Кип'ятильник

Кип'ятильники безперервної дії на будь-якому вигляді обігріву працюють за одним і тим же принципом і відрізняються продуктивністю, розмірами і конструкцією теплогенеруючих пристроїв; остання залежить від виду енергоносія.

Кип'ятильник має наступні основні частини: живильну коробку, водонагрівач з переливної трубою і збірник окропу. Кип'ятильники забезпечені кришкою, яка одягається на укріплений в корпусі болт і загвинчується спеціальною гайкою. У збірнику окропу над переливної трубою встановлений відбивач, що направляє крапельки окропу, що викидаються з переливної труби, до збірника. У нижній частині збірника окропу знаходиться водорозбірні крани, у верхній - патрубок (отвір) для з'єднання збірника окропу з живильним коробкою. У живильному коробці встановлена сигнальна трубка, верхній кінець якої виведений вище рівня води, а нижній приєднується розривом до каналізації. На підводі водопровідної труби встановлений запірний вентиль для відключення кип'ятильника від водопровідної мережі при його ремонті, а також у нічний час. У даній роботі був використаний кип'ятильник періодичної дії який оснований на теплоносії – пара.



Рисунок 1.4. Кип'ятильник ЭКГ-10

Сепаратор

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						16
Зам.	Анк	№ доквм	Підпис	Дата		

Апарат для поділу механічних сумішей твердих або рідких тіл, відділення від них домішок, видалення твердих або рідких частинок з газу. Принцип дії сепараторів різних типів заснований на відмінності фізичних властивостей компонентів суміші: форми, маси, густини частинок, коефіцієнт тертя, магнітних і електричних властивостей і т. П. Для поділу емульсій і освітлення рідин застосовуються зазвичай сепаратор відцентрового типу, для механічного очищення газів і виділення з них твердих або рідких частинок використовуються газові сепаратори і циклони; для відділення зерна від домішок служать борошномельний сепаратори, що працюють за допомогою сит, повітряного струменя, магнітів і ін. у нашому випадку ми застосовували сепаратори відцентрового та газового типу.



Рисунок 1.5. Сепаратор газового типу

Насоси

Основне призначення промислових насосів - використання з метою перекачування води, нафтопродуктів, харчових рідин, ґрунтів, пісків, різних хімічних речовин. У даному виробництві насоси є невід'ємною частиною.

Види промислових насосів:

- пісочні – використовуються для роботи з матеріалами, такими як, гравій та пісок;
- бензинові – ідеально підходять для роботи з паливними рідинами;
- насоси для паперу і дерево волокнистих мас;
- нафтові, тощо.

Одним з найпопулярніших циркуляційних промислових агрегатів є відцентровий. Головний принцип роботи його пристрою – обертання колеса.

Їх види:

Одноступінчасті;

Багатоступінчасті.

Плюси: низький шум при роботі, відсутність потреби технічного ремонту, високі показники тиску, доступна вартість і довговічність.



Рисунок 1.6 – Промисловий відцентровий багатоступінчастий насос

1.3 Існуючі математичні моделі процесу

Алкілування бензолу олефінами

Процес алкілування бензолу олефінами C10 - C14 протікає за механізмом електрофільного ароматичного заміщення, де роль алкіруючого агента виконує карбкатион, що утворюється при взаємодії олефіна з протоном каталізатора, а роль субстрату – бензол.

Згідно з даними з різних джерел механізм реакції алкілування включає стадії утворення карбкатиона, стадію атаки субстрату (бензолу) з утворенням р-комплексу, стадію утворення сигма-комплексу та утворення кінцевого продукту з розпадом сигма-комплексу.

Таким чином, процес алкілування, крім реакцій отримання лінійних алкілбензолів (ЛАБ), включає ряд побічних реакцій, які значно впливають на якість і вихід продукту.

Зам.	Арк	№ докум	Підпис	Дата

ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ

Анк

18

Математична модель реактора алкілювання бензолу олефінами повинна включати кінетичну модель реактора, гідродинамічну модель і тепловий баланс реактора.

Всі реакції процесу алкілювання є екзотермічні. Однак, згідно з експериментальними даними, при відсутності відведення тепла температура вхідного потоку в реактор відрізняється від вихідної не більше ніж на 2 градуси. Малі перепади температур по реактору можна пояснити велику теплоємність рідкої фази реакційного середовища, а також тим, що основна частина потоку (парафіни, надлишок бензолу і фторводня) не вступає в хімічні реакції. Рівняння теплового балансу для адіабатичного реактора алкілювання матиме вигляд:

$$\rho^{cm} C_p^{cm} \frac{dT}{d\tau} = \pm \sum_{j=1}^N (-\Delta H_j) W_j$$

де $-\Delta H_j$ – теплота j -тої хімічної реакції, Дж/моль; W_j – швидкість j -тої хімічної реакції, м³/(моль·с); C_p^{cm} – масова теплоємність реакційної суміші, Дж/кг·К; ρ^{cm} – густина реакційної суміші, кг/м³; T – температура, К.

Алкілювання бензолу етиленом

Була побудована модель, що описує процес отримання етилбензолу в реакторі поличного типу зі стаціонарним шаром каталізатора, в присутності твердого каталізатора – хлориду алюмінію. Можна відзначити наступні характерні риси схеми перетворень, покладеної в основу представленої моделі:

- в схему перетворень включені реакції, що протікають в процесах алкілювання і трансалкілювання;
- для процесу алкілювання враховується цільова реакція утворення моноалкілбензолів і побічна реакція утворення діалкілбензолів;
- для процесу трансалкілювання врахована реакція утворення етилбензол з діетилбензолів;
- індивідуальні ізомери діетилбензолів об'єднані в один псевдокомпонент.

При описі реакторних процесів авторами використовувалися квазігомогенні стаціонарні моделі реакторів, як модель гідродинамічного режиму була запропонована модель ідеального витіснення.

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						19
Зам.	Анк	№ докум	Підпис	Дата		

Невідомі кінетичні параметри моделі були знайдені шляхом порівняння розрахункових показників з експериментальними даними з використанням оптимізаційного методу випадкового пошуку (MATLAB). Розроблена математична модель була реалізована у вигляді програмного продукту, написаного на мові Fortran і дозволяла прогнозувати значення тиску, температури на виході з реактора, конверсії реагентів і складу продуктів.

Алкілювання ізобутану бутеном

Модель алкілювання ізобутана бутеном на цеолітному каталізаторі розроблена для реактора зі стаціонарним шаром каталізатора.

Особливістю даної моделі є той факт, що в її основу покладена детальна схема перетворень, що включає 3130 елементарних реакцій і 753 речовини, яка в подальшому була формалізована на основі даних про реакційну здатність індивідуальних речовин. При описі реакторного процесу автором використана нестаціонарна квазігомогенна модель реактора ідеального витіснення, описана функція дезактивації каталізатора.

Ідентифікація невідомих кінетичних параметрів проводилася регресійним методом із залученням розрахункових даних, отриманих з використанням квантово-хімічних методів.

Результатом, стало створення спеціалізованого програмного продукту, що дозволяє розраховувати процес дезактивації каталізатора, вихід і склад продуктів алкілювання.

Алкілювання бензолу додеценом-1 в реакторі з суспендованим шаром каталізатора

В якості каталізатора в даному процесі була використана фосфорновольфрамова кислота (HPW), нанесена на силікагель.

При складанні схеми перетворень були враховані реакції утворення 2-, 3-, 4-, 5-, 6-фенілалканов, в той час як побічною реакцією – реакція утворення поліалкілбензолів, автори нехтують.

Для складання матеріального балансу реактора алкілювання авторами були використані моделі рівноважного стану і нерівноважного стану. Ідентифікація

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						20
Зам.	Анк	№ док-м	Підпис	Дата		

кінетичних параметрів була проведена за наявними експериментальними даними з використанням нелінійного регресійного методу.

Програмно реалізована математична модель дозволяє прогнозувати вихід алкілата і ступінь перетворення.

Алкілування бензолу додеценом-1 в реакторі зі стаціонарним шаром каталізатора

Дана модель описує процес алкілування бензолу додеценом-1 в присутності каталізаторів DTP, DTS, DMP на різних носіях в реакторі зі стаціонарним шаром каталізатора.

Серед особливостей використаної схеми перетворень можна відзначити, що розглянуті проміжні стадії механізму реакції алкілування, зокрема стадія утворення карбкатіонів, стадія ізомеризації карбкатіонів, стадія утворення ізомерних моноалкілбензолів, а також реакція утворення діалкілбензолів.

При описі реакторних процесів авторами була проведена оцінка внутрідіфузійних ускладнень шляхом розрахунку критерію Вайса-Пратера, кінетичні параметри моделі були знайдені шляхом рішення зворотної кінетичної задачі за наявними експериментальними даними.

Програмно реалізована математична модель дозволяє прогнозувати склад продуктів алкілування.

Можна відзначити наступні характерні риси існуючих моделей процесів алкілування бензолу вищими олефінами:

- в силу зростаючої популярності процесів алкілування на твердих каталізаторах, всі кінетичні дослідження присвячені саме цим процесам;
- більшість існуючих моделей детально описують кінетичні закономірності, але для певного виду сировини (частіше тільки для додеценів);
- в схему перетворень не включені побічні реакції, без яких неможливе проведення промислового процесу алкілування;
- відсутні моделі промислових реакторів, які могли б бути використані для підвищення ефективності діючої установки алкілування.

1.4 Існуючі системи керування процесом алкілування

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						21
Зам.	Анк	№ докум	Підпис	Дата		

Для проведення технологічних розрахунків і прогнозування режимів роботи установки фтористоводневого алкілювання бензолу вищими олефінами була розроблена і перевірена на адекватність математична модель реактора, яка стала основною частиною моделюючої системи.

Використовуючи адекватний математичний опис реакторного процесу, можна досить точно спрогнозувати роботу реактора при різних умовах проведення процесу, на основі критерію оптимізації запропонувати оптимальний режим роботи системи «реактор - регенератор» з урахуванням конкретного складу сировини. Наведено основні результати досліджень впливу різних технологічних параметрів на ефективність процесу алкілювання, представлено обґрунтування обраного критерію оптимізації, а також наведені результати оптимізаційних розрахунків роботи реакторного блоку установки алкілювання бензолу олефінами, виконаних з використанням розробленої моделюючої системи.

Структура технологічної моделюючої системи в загальному випадку включає кілька функціональних блоків:

- 1) база даних по складу і характеристикам сировинних і продуктових потоків, характеристикам протікають реакцій;
- 2) експертна база знань;
- 3) пакет моделюють програм, що реалізують як чисельні методи рішення рівнянь моделі процесу, так і алгоритми для розв'язання оберненої кінетичної задачі.

При роботі користувача комп'ютерної моделюючої системи (КМС) взаємодіє з програмою через інтерфейс, вводить вихідні дані, вибирає тип розрахунку. При проведенні розрахунків реалізується моделює алгоритм розв'язання рівнянь математичної моделі реакторного процесу. Чисельні характеристики процесів, які являють собою параметри моделі, витягуються з бази даних. Супровід моделювання системи здійснюють розробники, ґрунтуючись на власних знаннях і на сформованій раніше базі знань по конкретному процесу. Схема взаємодії між користувачем КМС і її розробником на етапі створення та експлуатації моделює системи приведена на рисунку 1.7.

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						22
Зам.	Анк	№ док-м	Підпис	Дата		

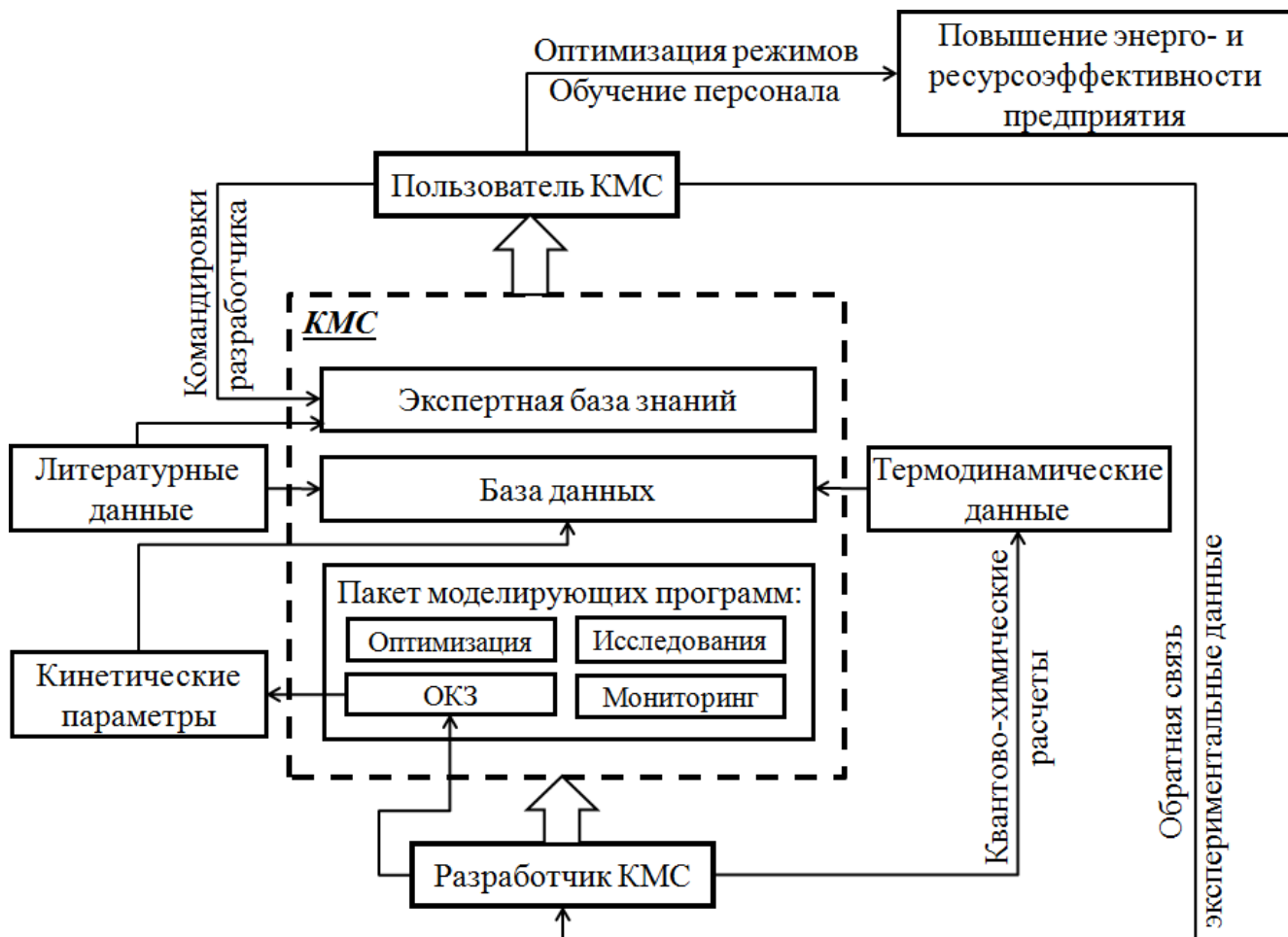


Рисунок 1.7 – Схема взаємодії користувача і розробника КМС

Інтелектуальна комп'ютерна система, розроблена для установки алкілування бензолу олефінами, містить математичний опис процесів, що протікають в реакторі. В основі опису лежать фундаментальні закономірності перетворення вуглеводнів в присутності фтороводневого каталізатора, представлені у вигляді фізико-хімічної моделі реактора.

Комп'ютерні моделюючі системи на сьогоднішній день вже реалізовані для найважливіших процесів нафтопереробки: каталітичного риформінгу і ізомеризації. Подібні інтелектуальні системи, в основі яких лежать фундаментальні фізико-хімічні закономірності дозволяють прогнозувати і збільшувати ресурс дорогих каталізаторів в залежності від умов експлуатації, а також вибирати марку каталізатора з урахуванням вуглеводневого сполучення сировини, що переробляється при заданій продуктивності. Із застосуванням

інтелектуальних систем можлива і економічна оптимізація режиму експлуатації установок шляхом розгляду і розрахунку різних варіантів підвищення їх продуктивності. Ці системи дозволяють підвищити, також, глибину переробки вуглеводневої сировини, дають можливість проводити аналіз і прогнозувати технологічні показники діючого виробництва, а також розраховувати і передбачати матеріальний баланс процесів в залежності від планованої завантаження установки.

В якості основного інструменту для вирішення конкретних завдань комп'ютерного моделювання (побудова математичної моделі, ідентифікація її параметрів, проведення оптимізаційних розрахунків) виступає пакет моделюють програм, що мають єдину операційну оболонку, в яку включено велику кількість обчислювальних алгоритмів.

У разі процесу алкілування бензолу олефінами пакет програм включає в себе програмно реалізований метод розв'язання диференціальних рівнянь математичної моделі (метод Ейлера) і реалізацію алгоритму ідентифікації кінетичних параметрів моделі за експериментальними даними, який представляє по суті модифікований метод сканування.

База даних моделює системи для процесу алкілування містить чисельні значення фізико-хімічних (щільність, молекулярна маса і ін.) і теплофізичних (теплоємність) характеристик вуглеводнів, які беруть участь в реакціях одержання ЛАБ, властивості індивідуальних речовин (парафінів, олефінів, діолефінов, алкілбензолів, діалкілбензолів, фтороводня, бензолу та ін.) , а також термодинамічні і кінетичні характеристики реакцій і застосовуваного каталізатора (предекспоненціальні множники, енергії активації основних реакцій, дані по дезактивації каталізатора, теплові ефекти реакцій, ентальпійні і ентропійні характеристики).

Для процесів алкілування бензолу пропіленом у рідкій фазі роботи з побудови комп'ютерної моделюючої системи невідомі.

1.5 Процес алкілування бензолу пропіленом у рідкій фазі як технологічний процес керування

					<i>ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ</i>	Анк
						24
Зам.	Анк	№ док-м	Підпис	Дата		

В Україні кумол отримують рідкофазним алкілуванням бензолу пропіленом в присутності каталітичного комплексу ($\text{AlCl}_3 + \text{HCl}$ + алкілатоароматичні вуглеводні). Використання $\text{AlCl}_3 + \text{HCl}$ лежить також в основі технологій фірм «Kellogg» і «Monsanto» (Росія). Принципова технологічна схема процесу аналогічна отримання етилбензолу. Процес здійснюють при $80 - 85^\circ \text{C}$. Конверсія бензолу при цьому становить 96%.

Є дані про розробку в Україні технологічних процесів отримання кумола (продукт реакції в процесі алкілування бензолу пропіленом у рідкій фазі; результат даної системи, продукт до якого ми прагнемо) із застосуванням фосфоровмісних каталізаторів, а також каталізатора на основі модифікованого β -цеоліту.

За кордоном більша частина кумолу до недавнього часу вироблялася на основі нанесення фосфорної кислоти за технологією фірми «UOP». Недоліками технології є необхідність окремого блоку трансалкілування, регулювання кількості, що подається на каталізатор води і очистки кумола глинами.

Цеоліт MCM-22 використовується в процесі «Mobil / Badger». Процеси алкілування і трансалкілування здійснюються в різних реакторах. Перевагами процесу, в порівнянні з процесами, де використовуються каталізатори на основі фосфорної кислоти або хлориду алюмінію є екологічна нешкідливість, а також велика чистота кумола - до 97%.

У процесі «Q-Max» фірми «UOP» цеоліту каталізатор використовується в двох послідовно розташованих двошарових реакторах алкілування. Пропілен відповідно подається чотирма потоками, в яких він повністю витрачається на реакцію алкілування бензолу. Міжрегенераційний пробіг каталізатора становить 2 роки. Трансалкілування поліалкілбензола здійснюється в окремому реакторі. Вихід кумола становить понад 99,6% при чистоті продукту 99,97%. Питомі енерговитрати в цьому процесі не скільки вище, ніж в процесі «Mobil / Badger».

Реакційно-ректифікаційної процес виробництва кумола фірми «CDTECH» забезпечує в колонній апараті з цеоліту каталізатором каталітичну дистиляцію, при якій одночасно протікають ізотермічне алкілування бензолу пропіленом при низькій температурі і в результаті продуктів з реакційної зони. Це знижує

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						25
Зам.	Анк	№ докум	Підпис	Дата		

утворення побічних продуктів, підвищує вихід і чистоту кумола, а також дозволяє знизити температуру і тиск процесу.

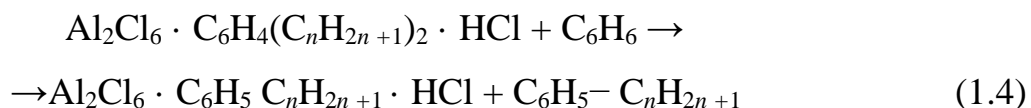
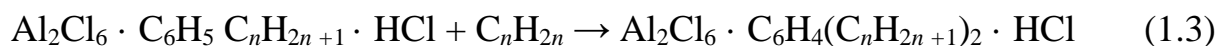
Розглянемо детальніше процес алкілювання бензолу пропіленом в головному апараті – алкілаторі, з якого ми і отримуємо першочерговий продукт – алкілат.

Обезводнений бензол поступає в нижню частину алкілатора, туди ж подається каталізатор у вигляді комплексного з'єднання хлористого алюмінію з поліалкілбензолами. Свіжий пропілен також подається у нижню частину колони. Процес алкілювання починається уже при температурі 35-40 °С. Але водночас в реакторі повинен відбуватися процес деалкілювання поліалкілбензолів, тому на практиці реакція повинна відбуватися при 85 °С. процес відбувається з виділенням тепла, тому потрібно його відводити. В даному випадку це можливо завдяки воді, яка протікає у міжтрубчастому просторі. Проте деяка частина бензолу відводиться за рахунок випарювання малої частини бензолу. Тиск в алкілаторі повинен бути стабільним – 5 ат; це необхідно для того щоб процес проходив у рідкій фазі. З верхньої частини алкілатора відводяться пари бензолу, які в подальшому будуть очищені. Пропан-пропіленова фракція із залишками каталізатора відводиться на очистку і переробку, щоб знову попасти в алкілатор із свіжим пропіленом. З верхньої частини реактора відводиться цільовий продукт – алкілат, який далі буде відправлений на ректифікацію.

Алкілювання бензолу пропіленом в присутності хлористого алюмінію протікає наступним чином. В результаті реакцій (1.1) та (1.2) утворюються каталітичні комплекси:



Після утворення каталізаторних комплексів в результаті послідовно чергуючих реакцій (1.3) і (1.4) протікає процес алкілювання:



					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						26
Зам.	Анк	№ докум	Підпис	Дата		

В подальшому буде розглянуто регулювання параметрів алкілатора, як основного апарату в процесі алкілювання.

Розглянемо наступні визначальні параметри алкілатора:

- концентрація алкілата на виході з апарату;
- температура в алкілаторі;
- тиск газів реакції в алкілаторі.

Основні збурення в стабільній роботі алкілатора:

- температури всіх вхідних матеріальних потоків: бензолу, пропан-пропіленової фракції, води на охолодження;
- концентрації бензолу і пропан-пропіленової фракції у вхідних потоках;
- наявність домішок-інгібіторів реакції у вхідних потоках реагентів;
- зниження тиску в апараті, що призведе до надмірного випаровування компонентів реакційної суміші і зниження швидкості реакції;
- зміна температури зовнішнього середовища, яка впливатиме на зміну втрат тепла в технологічному процесі, внаслідок чого зміниться і температура в реакторі.

Відповідна структурно-параметрична схема алкілатора як технологічного об'єкту керування наведена на рис. 1.8.

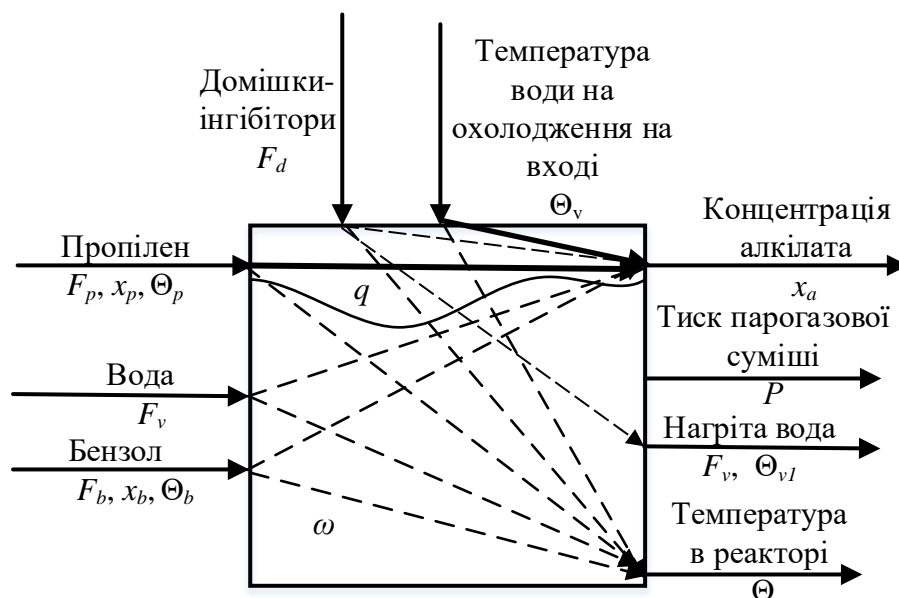


Рисунок 1.8 – Структурно-параметрична схема алкілатора як ТОК

(пунктиром позначені канали, які не розглядаються у даній роботі, а жирними лініями – канали які розглядаються)

Зам.	Арк	№ док-м	Підпис	Дата

F_b – витрата бензолу на вході;
 F_d – витрата домішок-інгібіторів на вході;
 F_p – витрата пропан-пропіленової фракції на вході;
 F_{p1} – витрата пропан-пропіленової фракції на виході;
 F_v – витрата води початкова;
 F_{v1} – витрата води кінцева;
 F_{b1} – витрата парогазової суміші на виході;
 F_a – витрата алкілату (продуктів реакції) на виході;
 Θ_b – температура бензолу на вході;
 Θ_{b1} – температура парогазової суміші;
 Θ_p – температура пропан-пропіленової фракції;
 Θ_v – температура води початкової;
 Θ_{v1} – температура води кінцевої;
 Θ_{nc} – температура навколишнього середовища;
 x_b – концентрація бензолу на вході;
 x_p – концентрація пропан-пропіленової фракції на вході;
 x_a – концентрація алкілату на виході;
 P – тиск газів реакції в алкілаторі;
 Θ – температура в апараті і на виході з нього;
 r_b – питома теплота пароутворення бензолу.

Тиск в апараті підтримується витратою газів реакції на виході з алкілатора і динамічні характеристики цього параметру в подальшому не розглядаються. Також, не розглядаємо втрати в навколишнє середовище, так як корпус алкілатора був передбачений для цього і є теплоізоляція.

Будемо вважати постійними температури і концентрації вхідних потоків та відсутність домішок-інгібіторів. А досліджувати будемо залежність швидкості перебігу реакції від її порядку.

Виходячи з наведеного вище, визначальними параметрами даного процесу є концентрація алкілату на виході з алкілатора, а також температура в реакторі. Щоб досягти заданої концентрації ми будемо її регулювати витратою пропан-пропіленової фракції, а щоб досягти сталої температури в реакторі будемо

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						28
Зам.	Анк	№ докум	Підпис	Дата		

змінювати витрату води, оскільки саме з нею відводиться значна кількість тепла. Основним збуренням, яке діє в апараті, будемо розглядати температуру охолоджуючої води на вході в алкілатор, тому що цей параметр може певною мірою коливатися.

1.6 Постановка задачі дослідження

Метою даної роботи є :

1. Розробка математичної моделі динаміки температури і концентрації алкілату на виході з алкілатора;
2. Визначення динамічних характеристик каналів керування і збурення;
3. Дослідження впливу допущення про порядок реакції (першого чи нульового) на динамічні характеристики каналів керування і збурення;
4. Дослідження впливу цього допущення на параметри налаштування регуляторів і перехідні характеристики замкнутих систем регулювання;
5. Розробка проектної документації:
 - схеми автоматизації;
 - принципової електричної схеми з дистанційного управління електромоторами технологічного обладнання та системи аварійного захисту і технологічних блокувань;
 - монтажно-комутаційної схеми з'єднань;
 - принципової електричної схеми з контролю та технологічної сигналізації вимірювальних параметрів;
 - принципової електричної схеми з технічних блокувань сигналів до регулювальних клапанів при аварійних ситуаціях.
6. Розробка засобів безпеки на робочому місці і на виробництві в цілому.

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						29
Зам.	Анк	№ док-м	Підпис	Дата		

2. Математичне моделювання процесу алкілювання бензолу пропіленом у рідкій фазі

2.1 Постановка задачі моделювання

У виробництві алкілювання бензолу пропіленом у рідкій фазі найважливішим апаратом є алкілатор, який і призначений безпосередньо для алкілювання за участі хлороводню. Тому саме цей реактор досліджується, як технологічний об'єкт керування. Визначаються статичні та динамічні характеристики за каналами керування і збурення на основі створеної математичної моделі алкілатора. Досліджується вплив допущень на вид і характер динамічних властивостей та налаштування параметрів регулятора різними методами. Допущення, яке буде досліджуватися – порядок реакції перебігу процесу. Використання сигнального графа для відображення динамічних характеристик та оцінка і порівняння вибраних методів налаштування регулятора.

Канали, які будуть розглядатися :

- по керуванню «витрата пропан-пропіленової фракції – концентрація алкілату»;
- по збуренню «витрата води на охолодження – концентрація алкілату».

Дослідження структурно-параметричної схеми об'єкта.

Вхідними параметрами до алкілатора є:

- витрата пропан-пропіленової фракції, кг/с;
- витрата бензолу, кг/с;
- витрата води на охолодження, кг/с;
- температура пропан-пропіленової фракції, К;
- температура бензолу, К;
- температура води початкова, К;
- питома теплоємність пропан-пропіленової фракції, Дж/(кг·К);
- питома теплоємність бензолу, Дж/(кг·К);
- питома теплоємність води, Дж/(кг·К);
- концентрація пропан-пропіленової фракції, %;
- концентрація бензолу, %;

					ЛП ЛА52.07.00.000 ПЗ	Анк.
Зам.	Анк.	№ докum.	Підпис	Дата		29

Вихідними параметрами є:

- витрата парів бензолу, кг/с;
- витрата алкілату, кг/с;
- витрата води на охолодження, кг/с;
- температура парів бензолу, К;
- температура алкілату, К;
- температура води кінцева, К;
- концентрація алкілату, %.

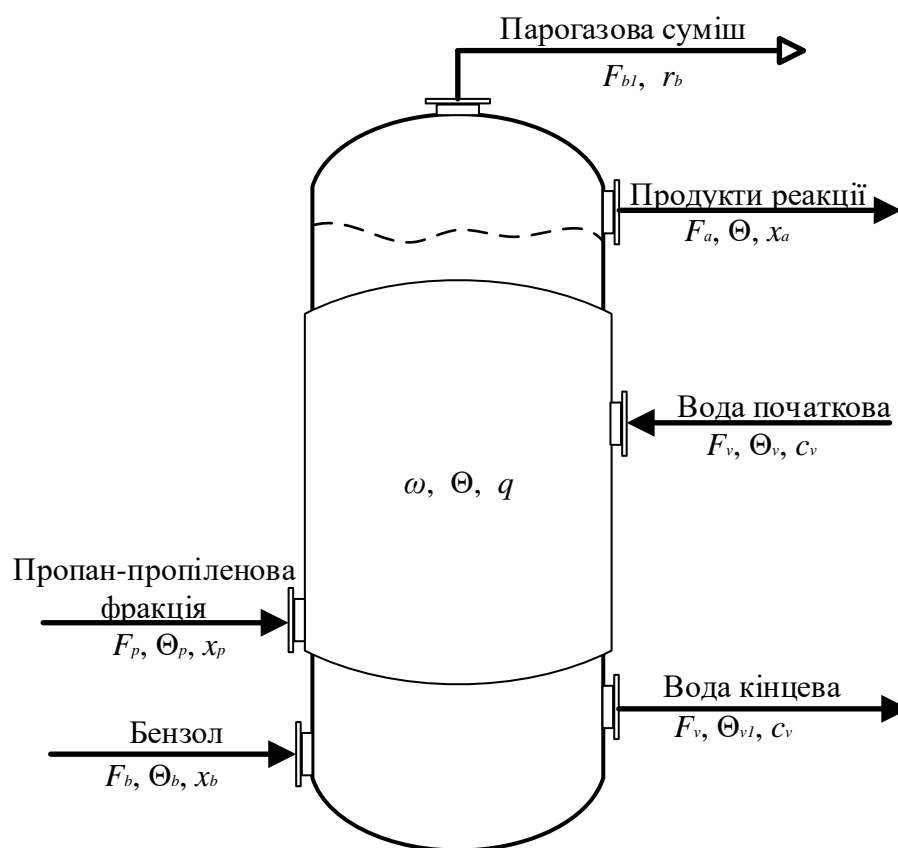


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема алкілятора

F_b – витрата бензолу на вході;

F_p – витрата пропан-пропіленової фракції на вході;

F_v – витрата води початкова;

F_{b1} – витрата парогазової суміші на виході;

F_a – витрата алкілату (продуктів реакції) на виході;

Зам.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата

ЛП ЛА52.07.00.000 ПЗ

Анк.

30

Θ_b – температура бензолу на вході;
 Θ_p – температура пропан-пропіленової фракції;
 Θ_v – температура води початкова;
 Θ_{v1} – температура води на виході;
 x_b – концентрація бензолу на вході;
 x_p – концентрація пропан-пропіленової фракції на вході;
 x_a – концентрація алкілату на виході;
 r_b – питома теплота пароутворення бензолу;
 Θ – температура рідини в апараті і на виході з нього;
 q – питома тепло реакції;
 ω – швидкість перебігу реакції.

Таблиця 2.1 Статичні параметри процесу

Ємність апарату	№ п/п	Назва параметру	Позначення (ідентифікатор)	Одиниця вимірювання	Значення
Алкілатор	1	Об'єм рідини в апараті	v	м ³	18
	2	Відношення кількості бензолу до пропілену	m		2
	3	Густина речовини в апараті	ρ	кг /м ³	810
	4	Питома тепло реакції	q	кДж/кг	62
	5	Питома теплоємність алкілату	c_a	кДж/кг·К	0.871

6	Добуток коефіцієнта теплопередачі на поверхню теплопередачі	$K \cdot S$	$\text{Кдж/с} \cdot \text{К} \cdot \text{м}^2$	60
7	Газова стала	R		8.31
8	Витрата бензолу на вході	F_b	кг/с	0.98
9	Молярна маса алкілату	M_a	кг/моль	120
10	Молярна маса бензолу	M_b	кг/моль	78
11	Молярна маса пропілену	M_p	кг/моль	42
12	Густина алкілата	ρ	кг/м^3	810
13	Питома теплота пароутворення бензолу	r_b	кДж/кг	398
14	Температура бензолу на вході	Θ_b	К	308
15	Температура пропілену на вході	Θ_p	К	308
16	Температура в апараті	Θ	$^{\circ}\text{C}$	85
17	Температура води на вході	Θ_v	К	278
18	Температура води на виході	Θ_{v1}	К	303
19	Густина води	ρ_v	кг/м^3	997
20	Концентрація бензолу на вході	x_b	$\%$	91.17

Зам.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата

ЛП ЛА52.07.00.000 ПЗ

Анк.

32

		в апарат			
	21	Концентрація пропілену на вході в апарат	x_p	%	96
	22	Концентрація алкілату на вході в апарат	x_a	%	90
	23	Питома теплоємність води	c_v	кДж/кг	4.200
	24	Коефіцієнт у формулі Ареніуса	k		1
	25	Питома теплоємність бензолу	c_b	кДж/кг	1.250
	26	Питома теплоємність пропілену	c_p	кДж/кг	1.72
	27	Витрата пропілену на вході	F_p	кг/с	0.51
	28	Енергія активації	E	кДж/моль	170
	29	Витрата води на охолодження	F_v	кг/с	0.14
	30	Об'єм води на охолодження	V_v	м ³	5.6

Основною метою керування є підтримання заданої концентрації алкілату на виході з апарату за рахунок зміни витрат пропан-пропіленової фракції при постійній температурі Θ , що підтримується подачею води.

Збурення - температура води охолодження на вході в алкілатор Θ_v ;

Керуюча дія - витрата води, витрата пропан-пропіленової фракції;

Рег величини - температура алкілату, концентрація алкілату.

Зам.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата

ЛП ЛА52.07.00.000 ПЗ

Анк.

33

При моделюванні статичного та динамічного режимів алкілатора робимо такі припущення:

1. Будемо вважати, що об'єм рідини в алкілаторі буде сталим – $v = \text{const}$.
2. Немає втрати тепла в навколишнє середовище (так як, корпус алкілатора має термоізоляцію).
3. Температура в апараті та на виході з нього буде однаковою $\Theta_a = \Theta_{p1} = \Theta_{b1} = \Theta$.
4. Тиск в апараті постійний.

2.2 Моделювання динамічного режиму об'єкта

Для подальшого моделювання системи потрібно скласти теплові і матеріальні баланси.

Матеріальний баланс рідини в алкілаторі:

$$F_b + F_p - F_a - F_{b1} = S \frac{dL}{dt}, \quad (2.2.1)$$

Так як на виході рідини з алкілатора є перелив, регулювання рівнем є недоцільне, а отже, $L = \text{const}$ і права частина рівняння (2.2.1) дорівнюватиме нулю:

$$F_b + F_p - F_a - F_{b1} = 0. \quad (2.2.2)$$

Рівняння (2.2.2) не потребує лінеаризації, оскільки, воно вже є лінійним.

За допомогою виразу (2.2.2) можна знайти витрату алкілату F_a , оскільки це не постійна, а змінна величина:

$$F_a = F_b + F_p - F_{b1}. \quad (2.2.3)$$

Як видно з виразу (2.2.3) витрата алкілату, залежить від витрати парогазової суміші бензолу на виході з апарату. Щоб визначити цей параметр, потрібно скласти співвідношення по бензолу відносно алкілату, яке дорівнює:

$$\frac{F_b \cdot x_b - F_{b1} \cdot x_{b1}}{M_b \cdot n_b} = \frac{(x_{a0} - x_a) F_a}{M_a \cdot n_a},$$

враховуючи, що $n_a = -n_b = -n_p = 1$, $x_{b1} = 1$ і $x_{a0} = 0$,

звідси:

$$F_{b1} \cdot x_{b1} = -\frac{M_b}{M_a} x_a \cdot F_a + F_b \cdot x_b,$$

Тоді витрата парогазової суміші становитиме:

					ЛП ЛА52.07.00.000 ПЗ	Анк.
Зам.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		34

$$F_{b1} = -\frac{M_b}{M_a} x_a \cdot F_a + F_b \cdot x_b, \quad (2.2.4)$$

Підставимо (2.2.4) у (2.2.3) і отримаємо:

$$F_a = F_b + F_p + \frac{M_b}{M_a} x_a \cdot F_a - F_b \cdot x_b$$

Зведемо подібні:

$$F_a \left(1 - \frac{M_b}{M_a} x_a\right) = F_b + F_p - F_b \cdot x_b,$$

Остаточного отримаємо:

$$F_a = \frac{F_b + F_p - F_b \cdot x_b}{1 - \frac{M_b}{M_a} x_a}. \quad (2.2.5)$$

Як видно з виразу (2.2.5) витрата алкілату є функцією витрати пропан-пропіленової фракції та концентрації алкілату:

$$F_a = f_1(F_p, x_a).$$

В результаті того, що бензол подається в надлишку відносно пропан-пропіленової фракції, будемо розглядати як основний потік витрати пропан-пропіленової фракції, так як його кількість менша. Це співвідношення складає m :

$$F_b = m \cdot F_p. \quad (2.2.6)$$

В результаті цього рівняння (2.4) перепишеться так:

$$F_{b1} = -\frac{M_b}{M_a} x_a \cdot F_a + m \cdot F_p \cdot x_b \quad (2.2.7)$$

Отже, витрата парогазової суміші на виході є функцією витрати пропан-пропіленової фракції та концентрації алкілату:

$$F_{b1} = f_2(F_p, x_a)$$

І відповідно (2.2.5):

$$F_a = \frac{m \cdot F_p + F_p - m \cdot F_p \cdot x_b}{1 - \frac{M_b}{M_a} x_a}$$

Остаточного маємо:

					ЛП ЛА52.07.00.000 ПЗ	Анк.
						35
Зам.	Анк.	№ докum.	Підпис	Дата		

$$F_a = \frac{F_p (m + 1 - m \cdot x_b)}{1 - \frac{M_b}{M_a} x_a} \quad (2.2.8)$$

2.2.1 Математична модель у розмірних величинах

1) Матеріальний баланс для акумувальної ємності реакційної маси в алкілаторі при мольних значеннях концентрації:

$$-F_a \cdot x_a + v \cdot \rho \cdot \omega = v \cdot \rho \frac{dx_a}{dt} \quad (2.2.1.1)$$

Так як реакція має перший порядок, то її швидкість буде визначатися концентрацією пропан-пропіленової фракції x_{pl} в реакторі. Враховуючи закон Ареніуса та закон діючих мас швидкість реакції дорівнює:

$$\omega = \frac{M_a}{M_p} k \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot \Theta}\right) \cdot x_{pl} \quad (2.2.1.2)$$

Для визначення x_{pl} необхідно розрахувати значення концентрації пропан-пропіленової фракції; так як це змінний параметр, то його визначимо із співвідношення кількості пропан-пропіленової фракції відносно алкілату:

$$\frac{F_p \cdot x_p - F_a \cdot x_{pl}}{M_p \cdot n_p} = \frac{(-x_{a0} + x_a) F_a}{M_a \cdot n_a}$$

де $F_a \cdot x_{pl}$ – пропан-пропіленова фракція, яка не прореагувала.

Виразимо:

$$\frac{M_p}{M_a} (-x_{a0} + x_a) \cdot F_a = F_p \cdot x_p - F_a \cdot x_{pl}$$

Звідси:

$$x_{pl} = \frac{1}{F_a} \cdot (F_p \cdot x_p - \frac{M_p}{M_a} x_a) = \frac{F_p}{F_a} x_p - \frac{M_p}{M_a} x_a \quad (2.2.1.3)$$

Підставимо (2.2.1.3) в (2.2.1.2) і отримаємо:

$$\omega = \frac{M_a}{M_p} k \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot \Theta}\right) \cdot \left[\frac{F_p}{F_a} x_p - \frac{M_p}{M_a} x_a \right] \quad (2.2.1.4)$$

Тепер підставимо (2.2.1.4) в (2.2.1.1):

$$-F_a \cdot x_a + v \cdot \rho \cdot \frac{M_a}{M_p} k \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot \Theta}\right) \cdot \left[\frac{F_p}{F_a} x_p - \frac{M_p}{M_a} x_a\right] = v \cdot \rho \frac{dx_a}{dt} \quad (2.2.1.5)$$

Для подальшого спрощення запису запишемо блок виразивши через коефіцієнт:

$$A1 = v \cdot \rho \cdot \frac{M_a}{M_p} k \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot \Theta}\right) \quad (2.2.1.6)$$

2) Тепловий баланс реакційної маси:

$$F_b \cdot c_b \cdot \Theta_b + F_p \cdot c_p \cdot \Theta_p - F_a \cdot c_a \cdot \Theta - KS \left(\Theta - \frac{\Theta_v + \Theta_{v1}}{2} \right) -$$

$$-F_{b1} \cdot r_b + v \cdot \rho \cdot \omega \cdot q = v \cdot \rho \cdot c_a \frac{d\Theta}{dt} \quad (2.2.1.7)$$

У вираз (2.2.1.4) внесемо позначення і запишемо формулу швидкості використовуючи коефіцієнт $A1$:

$$\frac{F_p}{F_a} = \frac{M_a - M_b \cdot x_a}{M_a(m+1 - m \cdot x_b)} = f3(x_a),$$

$$\omega = \frac{A1}{v \cdot \rho} \left(f3(x_a) x_p - \frac{M_p}{M_a} x_a \right). \quad (2.2.1.8)$$

Підставивши вираз (2.2.6), (2.2.7) та (2.2.1.8) в рівняння теплового балансу (2.2.1.7), будемо мати:

$$F_p (m \cdot c_b \cdot \Theta_b + c_p \cdot \Theta_p) - F_a \cdot c_a \cdot \Theta - KS \left(\Theta - \frac{\Theta_v + \Theta_{v1}}{2} \right) -$$

$$- \left(-\frac{M_b}{M_a} x_a \cdot F_a + m \cdot F_p \cdot x_b \right) \cdot r_b + v \cdot \rho \frac{A1}{v \cdot \rho} \left(f3(x_a) x_p - \frac{M_p}{M_a} x_a \right) \cdot q = v \cdot \rho \cdot c_a \frac{d\Theta}{dt}$$

(2.2.1.9)

3) Тепловий баланс по температурі води, яка подається на охолодження:

$$F_v \cdot c_v \cdot \Theta_v - F_v \cdot c_v \cdot \Theta_{v1} + KS \left(\Theta - \frac{\Theta_{v1} + \Theta_v}{2} \right) = v_v \cdot \rho_v \cdot c_v \frac{d}{dt} \left(\frac{\Theta_v - \Theta_{v1}}{2} \right) \quad (2.2.1.10)$$

2.2.2 Математична модель у відхиленнях

Для спрощення розрахунків з лінеаризації рівняння скористаємось математичною формулою у відповідності з нашим рівнянням і даними які необхідно виразити:

$$\Delta f(\bar{x}) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f(\bar{x})}{\partial x_i} \right) \bigg|_0 \cdot \Delta x_i$$

$$\left(\frac{\partial f(\bar{x})}{\partial x_i} \right) \bigg|_0 = \left(\frac{\partial f(\bar{x})}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial x_i} \right) \bigg|_0 \quad (2.2.2.1)$$

Відповідно до цього:

1) Матеріальний баланс для акумувальної ємності реакційної маси в алкілаторі при мольних значеннях концентрації, відповідно (2.2.1.6) записується у приростах:

$$\frac{\partial f(F_p, F_a, \Theta_v)}{\partial x_a} = \frac{\partial f}{\partial F_a} \cdot \frac{\partial F_a}{\partial x_a} \quad (2.2.2.2)$$

$$\frac{\partial \left(\frac{F_p}{F_a} \right)}{\partial x_a} \bigg|_0 = \left(\frac{-M_b}{M_a(m+1-m \cdot x_b)} \right) \bigg|_0 = A2 \quad (2.2.2.3)$$

$$\frac{\partial F_a}{\partial x_a} \bigg|_0 = \left(F_p(m+1-m \cdot x_b) \cdot M_a \cdot \frac{-M_b}{(M_a - M_b \cdot x_a)^2} \right) \bigg|_0 = A3 \quad (2.2.2.4)$$

Використовуючи (2.2.2.1)-(2.2.2.4) отримаємо:

$$-\Delta x_a \left[F_a + x_a \cdot A3 + A1 \cdot \left(\frac{M_b \cdot x_p}{M_a(m+1-m \cdot x_b)} + \frac{M_p}{M_a} \right) \right] \bigg|_0 = -A4 \cdot \Delta x_a$$

Маємо наступні позначення:

$$A1 = v \cdot \rho \cdot \frac{M_a}{M_p} k \cdot \exp \left(-\frac{E}{R \cdot \Theta} \right),$$

$$A2 = \frac{-M_b}{M_a(m+1-m \cdot x_b)},$$

$$A3 = F_p(m+1-m \cdot x_b) \cdot M_a \cdot \frac{-M_b}{(M_a - M_b \cdot x_a)^2},$$

Зам.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата

$$A4 = F_a + x_a \cdot A3 + A1 \cdot \left(\frac{M_b \cdot x_p}{M_a(m+1-m \cdot x_b)} + \frac{M_p}{M_a} \right).$$

Аналогічно по Θ :

$$\Delta\Theta \left[\frac{M_a}{M_p} k \cdot v \cdot \rho \left(\frac{F_p}{F_a} x_p - \frac{M_p}{M_a} x_a \right) \cdot \exp\left(\frac{-E}{R \cdot \Theta}\right) \cdot \left(\frac{-E}{R \cdot \Theta}\right) \cdot \left(\frac{-E}{R \cdot \Theta^2}\right) \right]_0 = A5 \cdot \Delta\Theta$$

Введемо позначення:

$$A5 = \frac{M_a}{M_p} k \cdot v \cdot \rho \left(\frac{F_p}{F_a} x_p - \frac{M_p}{M_a} x_a \right) \cdot \exp\left(\frac{-E}{R \cdot \Theta}\right) \cdot \left(\frac{-E}{R \cdot \Theta}\right) \cdot \left(\frac{-E}{R \cdot \Theta^2}\right)$$

Для подальших розрахунків виразимо коефіцієнт:

$$A6 = \frac{-M_b \cdot x_p}{M_a(m+1-m \cdot x_b)} - \frac{M_p}{M_a}$$

Отже, запишемо рівняння в приростах та перенесемо вихідні параметри в праву частину рівняння, а вхідні – в ліву:

$$-A4 \cdot \Delta x_a + A5 \cdot \Delta\Theta = v \cdot \rho \frac{d\Delta x_a}{dt}.$$

Розділимо отримане рівняння на $A4$ і отримаємо коефіцієнти:

$$T_{x_a} = \frac{v \cdot \rho}{A4}; \quad (2.2.2.5)$$

$$k_{\Theta x_a} = \frac{A5}{A4}. \quad (2.2.2.6)$$

Отже, використовуючи (2.2.2.5) і (2.2.2.6) остаточно отримаємо:

$$T_{x_a} \cdot \frac{d\Delta x_a}{dt} + \Delta x_a = k_{\Theta x_a} \cdot \Delta\Theta. \quad (2.2.2.7)$$

2) Лінеаризація теплового балансу реакційної маси в приростах (рівняння (2.2.1.9)) відповідно до формули (2.2.2.1):

$$\Delta F_p \left(m \cdot c_b \cdot \Theta_b + c_p \cdot \Theta_p - c_a \cdot \Theta \frac{m+1-m \cdot x_b}{1-\frac{M_b}{M_a} x_a} - m \cdot x_b \cdot r_b \right) -$$

$$\begin{aligned}
& -\Delta\Theta \left(F_a \cdot c_a + KS + v \cdot q \cdot \rho \cdot x_{p1} \frac{M_a}{M_p} k \cdot \exp\left(\frac{-E}{R \cdot \Theta}\right) \cdot \left(\frac{-E}{R \cdot \Theta}\right) \cdot \left(\frac{-E}{R \cdot \Theta^2}\right) \right) + \\
& + \Delta x_a \left[v \cdot \rho \cdot q \frac{A1}{v \cdot \rho} (A6) - c_a \cdot \Theta \cdot A3 + r_b \cdot \frac{M_b}{M_a} (F_a + x_a \cdot A3) \right] + \\
& + \Delta\Theta_{v1} \cdot \frac{KS}{2} + \Delta\Theta_v \cdot \frac{KS}{2} = v \cdot \rho \cdot c_a \frac{d\Delta\Theta}{dt} \quad (2.2.2.8)
\end{aligned}$$

Введемо позначення:

$$B1 = m \cdot c_b \cdot \Theta_b + c_p \cdot \Theta_p - c_a \cdot \Theta \frac{m+1-m \cdot x_b}{1-\frac{M_b}{M_a} x_a} - m \cdot x_b \cdot r_b, \quad (2.2.2.9)$$

$$B2 = F_a \cdot c_a + KS + v \cdot q \cdot \rho \cdot x_{p1} \frac{M_a}{M_p} k \cdot \exp\left(\frac{-E}{R \cdot \Theta}\right) \cdot \left(\frac{-E}{R \cdot \Theta}\right) \cdot \left(\frac{-E}{R \cdot \Theta^2}\right), \quad (2.2.2.10)$$

$$B3 = v \cdot \rho \cdot q \frac{A1}{v \cdot \rho} (A6) - c_a \cdot \Theta \cdot A3 + r_b \cdot \frac{M_b}{M_a} (F_a + x_a \cdot A3), \quad (2.2.2.11)$$

$$B4 = \frac{KS}{2}. \quad (2.2.2.12)$$

Підставивши вирази (2.2.2.9)-(2.2.2.12) в (2.2.2.8) отримаємо:

$$B1 \cdot \Delta F_p - B2 \cdot \Delta\Theta + B3 \cdot \Delta x_a + B4(\Delta\Theta_{v1} + \Delta\Theta_v) = v \cdot \rho \cdot c_a \frac{d\Delta\Theta}{dt}$$

Поділимо все на $B2$ і отримаємо коефіцієнти:

$$T_\Theta = \frac{B5}{B2}, \quad (2.2.2.13)$$

$$k_{Fp\Theta} = \frac{B1}{B2}, \quad (2.2.2.14)$$

$$k_{x_a\Theta} = \frac{B3}{B2}, \quad (2.2.2.15)$$

$$k_{\Theta v\Theta} = \frac{B4}{B2}. \quad (2.2.2.16)$$

Запишемо вихідні параметри справа, а вхідні – зліва, з відповідними коефіцієнтами (2.2.2.13)-(2.2.2.16). Остаточного отримаємо:

$$T_{\Theta} \frac{d\Delta\Theta}{dt} + \Delta\Theta - k_{x_a\Theta} \cdot \Delta x_a - k_{\Theta v\Theta} \cdot \Delta\Theta_{v1} = k_{Fp\Theta} \cdot \Delta F_p + k_{\Theta v\Theta} \cdot \Delta\Theta_v. \quad (2.2.2.17)$$

3) Лінеаризація теплового балансу по температурі води, яка подається на охолодження (рівняння (2.2.1.10)):

$$\begin{aligned} \Delta F_v (c_v \cdot \Theta_v - c_v \cdot \Theta_{v1}) + \Delta\Theta_v \left(F_v \cdot c_v - \frac{KS}{2} \right) - \Delta\Theta_{v1} \left(F_v \cdot c_v + \frac{KS}{2} \right) + \Delta\Theta \cdot KS = \\ = \frac{v_v \cdot \rho_v \cdot c_v}{2} \left(\frac{d\Delta\Theta_v}{dt} + \frac{d\Delta\Theta_{v1}}{dt} \right). \end{aligned} \quad (2.2.2.18)$$

Введемо позначення:

$$D1 = c_v \cdot \Theta_v - c_v \cdot \Theta_{v1}; \quad (2.2.2.19)$$

$$D2 = F_v \cdot c_v - \frac{KS}{2}; \quad (2.2.2.20)$$

$$D3 = F_v \cdot c_v + \frac{KS}{2}; \quad (2.2.2.21)$$

$$D4 = KS. \quad (2.2.2.22)$$

Після підстановки виразів (2.2.2.19)-(2.2.2.22) в (2.2.2.18) отримаємо:

$$\Delta F_v \cdot D1 + \Delta\Theta_v \cdot D2 - \Delta\Theta_{v1} \cdot D3 + \Delta\Theta \cdot D4 = \frac{v_v \cdot \rho_v \cdot c_v}{2} \left(\frac{d\Delta\Theta_v}{dt} + \frac{d\Delta\Theta_{v1}}{dt} \right) \quad (2.2.2.23)$$

Поділимо (2.2.2.23) на $D3$ та отримаємо коефіцієнти:

$$T_{\Theta v} = \frac{v_v \cdot \rho_v \cdot c_v}{2 \cdot D3}$$

$$k_{Fv\Theta} = \frac{D1}{D3}$$

$$k_{\Theta v\Theta} = \frac{D2}{D3}$$

$$k_{\Theta\Theta v} = \frac{D4}{D3}$$

Отримаємо:

$$T_{\Theta v} \frac{d\Delta\Theta_{v1}}{dt} + \Delta\Theta_{v1} - k_{\Theta\Theta v} \cdot \Delta\Theta = k_{Fv\Theta} \cdot \Delta F_v + k_{\Theta v\Theta} \cdot \Delta\Theta_v \quad (2.2.2.24)$$

2.2.3 Перетворення за Лапласом та передатні функції

					ЛП ЛА52.07.00.000 ПЗ	Анк.
Зам.	Анк.	№ докum.	Підпис	Дата		41

1) Виконаємо перетворення за Лапасом виразу (2.2.2.7) та винесемо за дужки $x_a(p)$:

$$(T_{x_a} \cdot p + 1) \cdot x_a(p) - k_{\Theta x_a} \cdot \Theta(p) = 0. \quad (2.2.3.1)$$

2) Виконаємо перетворення за Лапасом виразу (2.2.2.17) та винесемо за дужки $\Theta(p)$:

$$(T_{\Theta} \cdot p + 1) \Theta(p) - k_{x_a \Theta} \cdot x_a(p) - k_{\Theta v \Theta} \cdot \Theta_{v1}(p) = k_{Fp \Theta} \cdot F_p(p) + k_{\Theta v \Theta} \cdot \Theta_v(p). \quad (2.2.3.2)$$

3) Перетворимо за Лапасом вираз (2.2.2.24) та винесемо за дужки $\Theta_{v1}(p)$:

$$(T_{\Theta v} \cdot p + 1) \Theta_{v1}(p) - k_{\Theta \Theta v} \cdot \Theta(p) = k_{Fv \Theta} \cdot F_v(p) + k_{\Theta v \Theta} \cdot \Theta_v(p) \quad (2.2.3.3)$$

Для того, щоб визначити передатні функції по бажаним каналам, необхідно скласти матрицю Крамера, елементами якої є коефіцієнти рівнянь (2.2.3.1)-(2.2.3.3), відповідно від параметру.

Складемо матрицю Крамера для системи рівнянь (2.2.3.1)-(2.2.3.3):

$$\Delta = \begin{pmatrix} x_a & \Theta & \Theta_{v1} \\ (T_{x_a} \cdot p + 1) & -k_{\Theta x_a} & 0 \\ -k_{x_a \Theta} & (T_{\Theta} \cdot p + 1) & -k_{\Theta v \Theta} \\ 0 & -k_{\Theta \Theta v} & (T_{\Theta v} \cdot p + 1) \end{pmatrix} =$$

$$= (T_{x_a} \cdot p + 1) \cdot (T_{\Theta} \cdot p + 1) \cdot (T_{\Theta v} \cdot p + 1) - (T_{x_a} \cdot p + 1) \cdot k_{\Theta v \Theta} \cdot k_{\Theta \Theta v} - k_{\Theta x_a} \cdot k_{\Theta \Theta v} \cdot (T_{\Theta v} \cdot p + 1)$$

Запишемо вектор-стовпчик параметрів керуючої дії та збурення:

$$F_p(p) = \begin{pmatrix} 0 \\ k_{Fp \Theta} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$F_v(p) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ k_{Fv \Theta} \end{pmatrix}$$

$$\Theta_v(p) = \begin{pmatrix} 0 \\ k_{\Theta v \Theta} \\ k_{\Theta v \Theta v1} \end{pmatrix}$$

Для визначення передатної функції будемо використовувати формулу:

$$W(p) = \frac{\Delta_1}{\Delta}, \quad (2.2.3.4)$$

де Δ_1 – визначник матриці по заданому каналу;

Δ – визначник матриці всієї системи.

В даній роботі будемо розглядати два канали – по керуванню (вплив витрати пропан-пропіленової фракції на концентрацію алкілату) і по збуренню (вплив температури вхідної води на охолодження на концентрацію алкілату).

По каналу керування «витрата пропан-пропіленової фракції—концентрація алкілату»:

$$\Delta_{Fp \rightarrow x_a} = \begin{vmatrix} F_p & \Theta & \Theta_{v1} \\ 0 & -k_{\Theta x_a} & 0 \\ k_{Fp\Theta} & (T_{\Theta} \cdot p + 1) & -k_{\Theta v\Theta} \\ 0 & -k_{\Theta v} & (T_{\Theta v} \cdot p + 1) \end{vmatrix} = k_{\Theta x_a} \cdot k_{Fp\Theta} \cdot (T_{\Theta v} \cdot p + 1)$$

Матриця Крамера по каналу збурення «температура води—концентрація алкілату»:

$$\Delta_{\Theta v \rightarrow x_a} = \begin{vmatrix} \Theta_v & \Theta & \Theta_{v1} \\ 0 & -k_{\Theta x_a} & 0 \\ k_{\Theta v\Theta} & (T_{\Theta} \cdot p + 1) & -k_{\Theta v\Theta} \\ k_{\Theta v\Theta v1} & -k_{\Theta v} & (T_{\Theta v} \cdot p + 1) \end{vmatrix} =$$

$$= k_{\Theta x_a} \cdot k_{\Theta v\Theta} \cdot k_{\Theta v\Theta v1} + k_{\Theta x_a} \cdot k_{\Theta v\Theta} \cdot (T_{\Theta v} \cdot p + 1)$$

Визначимо передатну функцію по каналу керування «витрата пропан-пропіленової фракції – концентрація алкілату». Для цього скористаємось формулою (2.2.3.4). Відповідно отримаємо:

$$W_{Fp \rightarrow x_a}(p) = \frac{\Delta_{Fp \rightarrow x_a}}{\Delta}$$

$$W_{Fp \rightarrow x_a}(p) = \frac{k_{\Theta x_a} \cdot k_{Fp\Theta} \cdot (T_{\Theta v} \cdot p + 1)}{(T_{x_a} \cdot p + 1) \cdot (T_{\Theta} \cdot p + 1) \cdot (T_{\Theta v} \cdot p + 1) - (T_{x_a} \cdot p + 1) \cdot k_{\Theta v\Theta} \cdot k_{\Theta v} - k_{\Theta x_a} \cdot k_{\Theta v\Theta} \cdot (T_{\Theta v} \cdot p + 1)}$$

Передатна функція по каналу збурення «температура води на охолодження – концентрація алкілату»:

$$W_{\Theta_v \rightarrow x_a}(p) = \frac{\Delta_{\Theta_v \rightarrow x_a}}{\Delta}$$

$$W_{\Theta_v \rightarrow x_a}(p) = \frac{k_{\Theta x_a} \cdot k_{\Theta v \Theta} \cdot k_{\Theta v \Theta v 1} + k_{\Theta x_a} \cdot k_{\Theta v \Theta} \cdot (T_{\Theta v} \cdot p + 1)}{(T_{x_a} \cdot p + 1) \cdot (T_{\Theta} \cdot p + 1) \cdot (T_{\Theta v} \cdot p + 1) - (T_{x_a} \cdot p + 1) \cdot k_{\Theta v \Theta} \cdot k_{\Theta \Theta v} - k_{\Theta x_a} \cdot k_{\Theta \Theta v} \cdot (T_{\Theta v} \cdot p + 1)}$$

2.2.4 Перехідні характеристики

Перехідна характеристика за каналом керування «витрата пропілену – концентрація алкілату» наведена на рисунку:

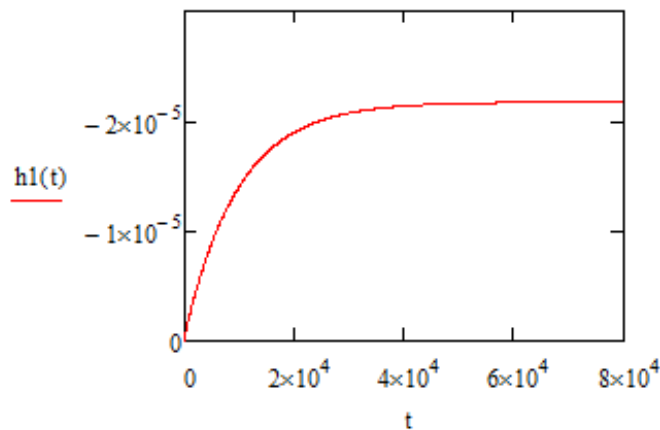


Рисунок 2.2.4.1 – Перехідна характеристика за каналом керування «витрата пропан-пропіленової фракції – концентрація алкілату»

Її передатна функція у Mathcad має вигляд:

$$W1(p) := \frac{(T_{\Theta v} \cdot p + 1) \cdot k_{\Theta x_a} \cdot k_{Fp \Theta}}{(T_{x_a} \cdot p + 1) \cdot (T_{\Theta} \cdot p + 1) \cdot (T_{\Theta v} \cdot p + 1) - (T_{x_a} \cdot p + 1) \cdot k_{\Theta v \Theta} \cdot k_{\Theta \Theta v} - k_{\Theta x_a} \cdot k_{x_a \Theta} \cdot (T_{\Theta v} \cdot p + 1)}$$

$$W1(p) \left| \begin{array}{l} \text{simplify} \\ \text{collect} \\ \text{float, 4} \end{array} \right. \rightarrow - \frac{1.0 \cdot (1.943e6 \cdot p + 5173.0)}{2.363e12 \cdot p + 3.166e14 \cdot p^2 + 1.37e14 \cdot p^3 + 2.382e8}$$

$$\left(\frac{1.0 \cdot (1.943e6 \cdot p + 5173.0)}{2.382e8} \cdot 10000 \right) \text{float, 4} \rightarrow - \frac{1.0 \cdot (81.57 \cdot p + 0.2172)}{9920.0 \cdot p + 1.329e6 \cdot p^2 + 575146.0 \cdot p^3 + 1.0}$$

Звідки видно, що коефіцієнт підсилення дорівнює 0.2172 ($k = 0.2172$).

Час за який процес виходить на усталений рівень становить приблизно $6 \cdot 10^4$ с, тобто $6 \cdot 10^4 / 3600 = 16.6$ хвилин, що для такого великого і об'ємного апарату вважається нормою, тим більше, що концентрація має не великий приріст.

Перехідна характеристика за каналом збурення «витрата води на охолодження – концентрація алкілату» наведена на рисунку:

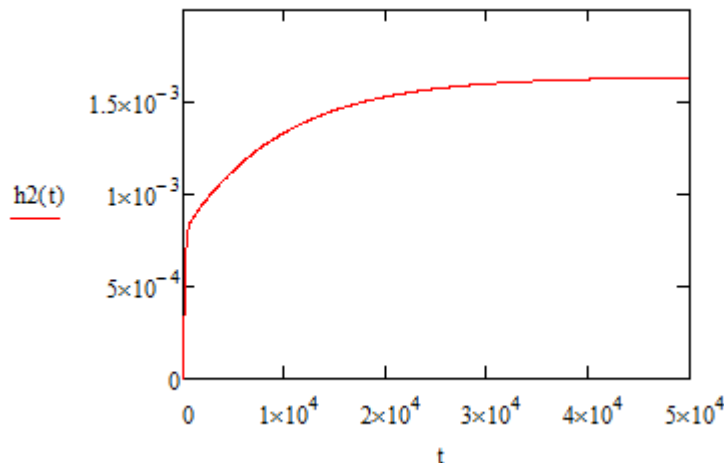


Рисунок 2.2.4.2 – Перехідна характеристика за каналом збурення «витрата води на охолодження – концентрація алкілату»

Її передатна функція у Mathcad має вигляд:

$$W2(p) \text{ float, 4} \rightarrow \frac{7.891 \cdot p + -2.338e-10 \cdot p^2 + 0.001639}{9917.0 \cdot p + 1.328e6 \cdot p^2 + 574977.0 \cdot p^3 + 1.0}$$

Звідки видно, що коефіцієнт підсилення дорівнює 0.001639 ($k = 0.001639$).

Час за який процес виходить на усталений рівень становить приблизно $4 \cdot 10^4$ с, тобто $4 \cdot 10^4 / 3600 = 11.11$ хвилин. Тобто збурення значно впливає на концентрацію.

2.2.5 Дослідження впливу допущення про реакцію нульового порядку на динамічні характеристики

При реакції нульового порядку, її швидкість буде визначатися за формулою:

$$\omega = \frac{M_a}{M_p} k \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot \Theta}\right)$$

Для подальших розрахунків будуть справедливі формули (2.2.7)-(2.2.8).

1) При реакції нульового порядку рівняння матеріального балансу для акумульованої ємності реакційної маси в алкілаторі при мольних значеннях концентрації, відповідно дорівнюватиме:

$$-F_a \cdot x_a + v \cdot \rho \cdot \frac{M_a}{M_p} k \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot \Theta}\right) = v \cdot \rho \frac{dx_a}{dt} \quad (2.2.5.1)$$

Звідси:

$$A11 = v \cdot \rho \cdot \frac{M_a}{M_p} k \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot \Theta}\right) \quad (2.2.5.2)$$

Для спрощення розрахунків з лінеаризації скористаємось формулою (2.2.2.1).

$$\frac{\partial f(F_p, F_a, \Theta_v)}{\partial x_a} = \frac{\partial f}{\partial F_a} \cdot \frac{\partial F_a}{\partial x_a} \quad (2.2.5.3)$$

$$\left. \frac{\partial F_a}{\partial x_a} \right|_0 = \left(F_p (m+1 - m \cdot x_b) \cdot M_a \cdot \frac{-M_b}{(M_a - M_b \cdot x_a)^2} \right) \Big|_0 = A31 \quad (2.2.5.4)$$

Використовуючи (2.2.5.1), (2.2.5.3)-(2.2.5.4) отримаємо:

$$-\Delta x_a [F_a + x_a \cdot A31] \Big|_0 = -A41 \cdot \Delta x_a$$

Маємо наступні позначення:

$$A21 = 0,$$

$$A31 = F_p (m+1 - m \cdot x_b) \cdot M_a \cdot \frac{-M_b}{(M_a - M_b \cdot x_a)^2},$$

$$A41 = F_a + x_a \cdot A31.$$

Аналогічно по Θ :

$$\Delta \Theta \left[\frac{M_a}{M_p} k \cdot v \cdot \rho \cdot \exp\left(\frac{-E}{R \cdot \Theta}\right) \cdot \left(\frac{-E}{R \cdot \Theta}\right) \cdot \left(\frac{-E}{R \cdot \Theta^2}\right) \right] \Big|_0 = A51 \cdot \Delta \Theta$$

Введемо позначення:

$$A51 = \frac{M_a}{M_p} k \cdot v \cdot \rho \cdot \exp\left(\frac{-E}{R \cdot \Theta}\right) \cdot \left(\frac{-E}{R \cdot \Theta}\right) \cdot \left(\frac{-E}{R \cdot \Theta^2}\right)$$

Отже, запишемо рівняння в приростах та перенесемо вихідні параметри в праву частину рівняння, а вхідні – в ліву:

$$-A41 \cdot \Delta x_a + A51 \cdot \Delta \Theta = v \cdot \rho \frac{d\Delta x_a}{dt}.$$

Розділимо отримане рівняння на A41 і отримаємо коефіцієнти:

$$T1_{x_a} = \frac{v \cdot \rho}{A41}; \quad (2.2.5.5)$$

$$k1_{\Theta x_a} = \frac{A51}{A41}. \quad (2.2.5.6)$$

Отже, використовуючи (2.2.5.5) і (2.2.5.6) остаточно отримаємо:

$$T1_{x_a} \cdot \frac{d\Delta x_a}{dt} + \Delta x_a = k1_{\Theta x_a} \cdot \Delta \Theta. \quad (2.2.5.7)$$

Виконаємо перетворення за Лапласом виразу (2.2.5.7) та винесемо за дужки $x_a(p)$:

$$(T1_{x_a} \cdot p + 1) \cdot x_a(p) - k1_{\Theta x_a} \cdot \Theta(p) = 0. \quad (2.2.5.8)$$

2) При реакції нульового порядку рівняння теплового балансу реакційної маси, відповідно дорівнюватиме:

$$F_p(m \cdot c_b \cdot \Theta_b + c_p \cdot \Theta_p) - F_a \cdot c_a \cdot \Theta - KS \left(\Theta - \frac{\Theta_v + \Theta_{v1}}{2} \right) - \left(-\frac{M_b}{M_a} x_a \cdot F_a + m \cdot F_p \cdot x_b \right) \cdot r_b + v \cdot \rho \frac{A11}{v \cdot \rho} \cdot q = v \cdot \rho \cdot c_a \frac{d\Theta}{dt} \quad (2.2.5.9)$$

Для спрощення розрахунків з лінеаризації скористаємось формулою (2.2.2.1).

Відповідно, лінеаризація теплового балансу реакційної маси по відношенню з допущенням:

$$\Delta F_p \left(m \cdot c_b \cdot \Theta_b + c_p \cdot \Theta_p - c_a \cdot \Theta \frac{m+1-m \cdot x_b}{1-\frac{M_b}{M_a} x_a} - m \cdot x_b \cdot r_b \right) - \Delta \Theta \left(F_a \cdot c_a + KS + v \cdot q \cdot \rho \cdot \frac{M_a}{M_p} k \cdot \exp\left(\frac{-E}{R \cdot \Theta}\right) \cdot \left(\frac{-E}{R \cdot \Theta}\right) \cdot \left(\frac{-E}{R \cdot \Theta^2}\right) \right) + \Delta x_a \left[-c_a \cdot \Theta \cdot A31 + r_b \cdot \frac{M_b}{M_a} (F_a + x_a \cdot A31) \right] +$$

$$+\Delta\Theta_{v1} \cdot \frac{KS}{2} + \Delta\Theta_v \cdot \frac{KS}{2} = v \cdot \rho \cdot c_a \frac{d\Delta\Theta}{dt} \quad (2.2.5.10)$$

Введемо позначення:

$$B11 = m \cdot c_b \cdot \Theta_b + c_p \cdot \Theta_p - c_a \cdot \Theta \frac{m+1-m \cdot x_b}{1-\frac{M_b}{M_a}x_a} - m \cdot x_b \cdot r_b, \quad (2.2.5.11)$$

$$B21 = F_a \cdot c_a + KS + v \cdot q \cdot \rho \cdot \frac{M_a}{M_p} k \cdot \exp\left(\frac{-E}{R \cdot \Theta}\right) \cdot \left(\frac{-E}{R \cdot \Theta}\right) \cdot \left(\frac{-E}{R \cdot \Theta^2}\right), \quad (2.2.5.12)$$

$$B31 = -c_a \cdot \Theta \cdot A31 + r_b \cdot \frac{M_b}{M_a} (F_a + x_a \cdot A31), \quad (2.2.5.13)$$

$$B41 = \frac{KS}{2}. \quad (2.2.5.14)$$

$$B51 = v \cdot \rho \cdot c_a$$

Підставивши вирази (2.2.5.11)-(2.2.5.14) в (2.2.5.10) отримаємо:

$$\Delta F_p \cdot B11 - \Delta\Theta \cdot B21 + \Delta x_a \cdot B31 + \Delta\Theta_{v1} \cdot B41 + \Delta\Theta_v \cdot B41 = v \cdot \rho \cdot c_a \frac{d\Delta\Theta}{dt}$$

Поділимо все на $B21$ і отримаємо коефіцієнти:

$$T1_{\Theta} = \frac{B51}{B21}, \quad (2.2.5.15)$$

$$k1_{Fp\Theta} = \frac{B11}{B21}, \quad (2.2.5.16)$$

$$k1_{x_a\Theta} = \frac{B31}{B21}, \quad (2.2.5.17)$$

$$k1_{\Theta v\Theta} = \frac{B41}{B21}. \quad (2.2.5.18)$$

Запишемо вихідні параметри справа, а вхідні – зліва, з відповідними коефіцієнтами (2.2.5.15)-(2.2.5.18). Остаточно отримаємо:

$$T1_{\Theta} \frac{d\Delta\Theta}{dt} + \Delta\Theta - k1_{x_a\Theta} \cdot \Delta x_a - k1_{\Theta v\Theta} \cdot \Delta\Theta_{v1} = k1_{Fp\Theta} \cdot \Delta F_p + k1_{\Theta v\Theta} \cdot \Delta\Theta_v. \quad (2.2.5.19)$$

Виконаємо перетворення за Лапласом виразу (2.2.5.19) та винесемо за дужки

$\Theta(p)$:

					ЛП ЛА52.07.00.000 ПЗ	Анк.
						48
Зам.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

$$(T1_{\Theta} \cdot p + 1)\Theta(p) - k1_{x_a\Theta} \cdot x_a(p) - k1_{\Theta v\Theta} \cdot \Theta_{v1}(p) = k1_{Fp\Theta} \cdot F_p(p) + k1_{\Theta v\Theta} \cdot \Theta_v(p) \quad (2.2.5.20)$$

Тепловий баланс по температурі води, яка подається на охолодження залишається незмінним, оскільки, впливу допущення не спостерігається.

За відомими нам рівняннями(2.2.5.8), (2.2.5.20) та (2.2.3.3) складемо матрицю Крамера:

$$\Delta 1 = \begin{pmatrix} x_a & \Theta & \Theta_{v1} \\ (T1_{x_a} \cdot p + 1) & -k1_{\Theta x_a} & 0 \\ -k1_{x_a\Theta} & (T1_{\Theta} \cdot p + 1) & -k1_{\Theta v\Theta} \\ 0 & -k1_{\Theta v\Theta} & (T1_{\Theta v} \cdot p + 1) \end{pmatrix} =$$

$$= (T1_{x_a} \cdot p + 1) \cdot (T1_{\Theta} \cdot p + 1) \cdot (T1_{\Theta v} \cdot p + 1) - (T1_{x_a} \cdot p + 1) \cdot k1_{\Theta v\Theta} \cdot k1_{\Theta v\Theta} - k1_{\Theta x_a} \cdot k1_{\Theta v\Theta} \cdot (T1_{\Theta v} \cdot p + 1)$$

По тих самих каналах дослідимо вплив допущення про порядок реакції:

-канал керування «витрата пропан-пропіленової фракції—концентрація алкілата»:

$$\Delta 1_{F_p \rightarrow x_a} = \begin{pmatrix} F_p & \Theta & \Theta_{v1} \\ 0 & -k1_{\Theta x_a} & 0 \\ k1_{Fp\Theta} & (T1_{\Theta} \cdot p + 1) & -k1_{\Theta v\Theta} \\ 0 & -k1_{\Theta v\Theta} & (T1_{\Theta v} \cdot p + 1) \end{pmatrix} = k1_{\Theta x_a} \cdot k1_{Fp\Theta} \cdot (T1_{\Theta v} \cdot p + 1)$$

Матриця Крамера по каналу збурення «температура води—концентрація алкілату»:

$$\Delta_{\Theta v \rightarrow x_a} = \begin{pmatrix} \Theta_v & \Theta & \Theta_{v1} \\ 0 & -k1_{\Theta x_a} & 0 \\ k1_{\Theta v\Theta} & (T1_{\Theta} \cdot p + 1) & -k1_{\Theta v\Theta} \\ k1_{\Theta v\Theta v1} & -k1_{\Theta v\Theta} & (T1_{\Theta v} \cdot p + 1) \end{pmatrix} =$$

$$= k1_{\Theta x_a} \cdot k1_{\Theta v\Theta} \cdot k1_{\Theta v\Theta v1} + k1_{\Theta x_a} \cdot k1_{\Theta v\Theta} \cdot (T1_{\Theta v} \cdot p + 1)$$

Визначимо передатну функцію по каналу керування «витрата пропан-пропіленової фракції – концентрація алкілату». Для цього скористаємось формулою (2.2.3.4). Відповідно отримаємо:

$$W1_{F_p \rightarrow x_a}(p) = \frac{\Delta 1_{F_p \rightarrow x_a}}{\Delta 1}$$

$$W1_{F_p \rightarrow x_a}(p) = \frac{k1_{\Theta x_a} \cdot k1_{Fp\Theta} \cdot (T1_{\Theta v} \cdot p + 1)}{(T1_{x_a} \cdot p + 1) \cdot (T1_{\Theta} \cdot p + 1) \cdot (T1_{\Theta v} \cdot p + 1) - (T1_{x_a} \cdot p + 1) \cdot k1_{\Theta v\Theta} \cdot k1_{\Theta\Theta v} - k1_{\Theta x_a} \cdot k1_{\Theta\Theta v} \cdot (T1_{\Theta v} \cdot p + 1)}$$

Передатна функція по каналу збурення «температура води на охолодження – концентрація алкілату»:

$$W1_{\Theta v \rightarrow x_a}(p) = \frac{\Delta 1_{\Theta v \rightarrow x_a}}{\Delta 1}$$

$$W1_{\Theta v \rightarrow x_a}(p) = \frac{k1_{\Theta x_a} \cdot k1_{\Theta v\Theta} \cdot k1_{\Theta v\Theta v1} + k1_{\Theta x_a} \cdot k1_{\Theta v\Theta} \cdot (T1_{\Theta v} \cdot p + 1)}{(T1_{x_a} \cdot p + 1) \cdot (T1_{\Theta} \cdot p + 1) \cdot (T1_{\Theta v} \cdot p + 1) - (T1_{x_a} \cdot p + 1) \cdot k1_{\Theta v\Theta} \cdot k1_{\Theta\Theta v} - k1_{\Theta x_a} \cdot k1_{\Theta\Theta v} \cdot (T1_{\Theta v} \cdot p + 1)}$$

Відповідно перехідні характеристики матимуть вигляд:

Перехідна характеристика по каналу керування «витрата пропан-пропіленової фракції – концентрація алкілату»:

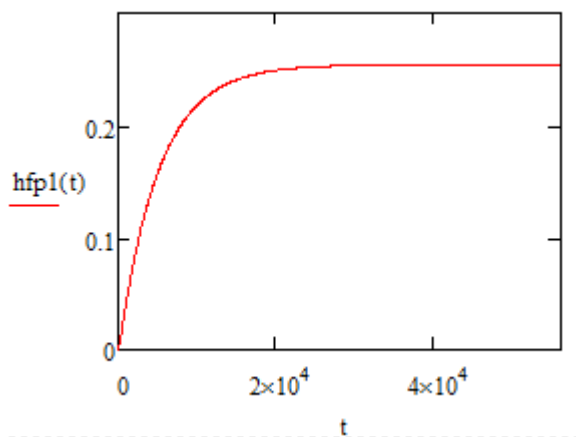


Рисунок 2.2.5.1 – Перехідна характеристика за каналом керування «витрата пропан-пропіленової фракції – концентрація алкілату» з впливом допущення нульового порядку Її передатна функція у Mathcad має вигляд:

$$Wfp1(p) := \frac{2555.0 \cdot p + 0.4682}{4624.0 \cdot p + (90.27 \cdot p + 1.0) \cdot (9462.0 \cdot p + 1.0) \cdot (5457.0 \cdot p + 1.0) + 0.8464}$$

Звідки видно, що коефіцієнт підсилення дорівнює 0.4682 ($k = 0.4682$).

Час за який процес виходить на усталений рівень становить приблизно $2.8 \cdot 10^4$ с, тобто $2.8 \cdot 10^4 / 3600 = 7.7$ хвилин.

Перехідна характеристика за каналом збурення «витрата води на охолодження – концентрація алкілату» наведена на рисунку:

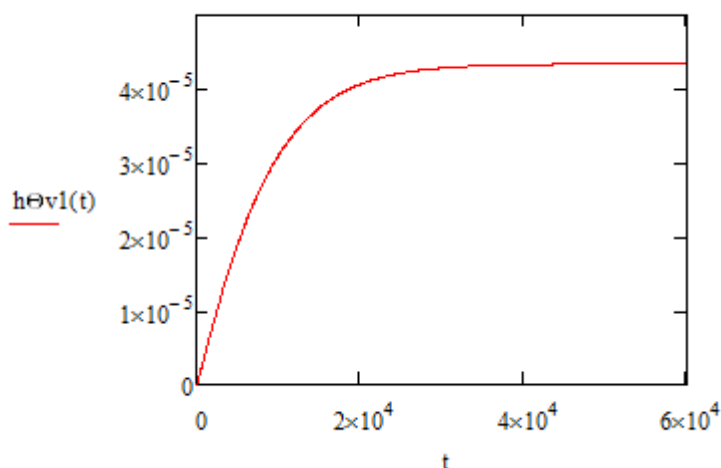


Рисунок 2.2.5.2 – Перехідна характеристика за каналом збурення «витрата води на охолодження – концентрація алкілату» з впливом допущення про реакцію нульового порядку

Її передатна функція у Mathcad має вигляд:

$$W\Theta v1(p) := \frac{0.121 \cdot p + 2.63e-8 \cdot p^2 + 0.0000434}{10646.0 \cdot p + 2.87e7 \cdot p^2 + 2.53e9 \cdot p^3 + 1.0}$$

Звідки видно, що коефіцієнт підсилення дорівнює 0.0000434 ($k = 0.0000434$).

Час за який процес виходить на усталений рівень становить приблизно $4,4 \cdot 10^4$ с, тобто $4,4 \cdot 10^4 / 3600 = 12.22$ хвилин. Тобто збурення значно впливає на концентрацію.

В результаті дослідження впливу допущення про порядок реакції можна дійти висновку, що ефективнішою і більш кращою виявилася модель, яка має нульовий порядок реакції. Оскільки, коефіцієнт підсилення по каналу керування майже вдвічі більше, а вихід на усталене значення менший ніж при реакції першого порядку. По каналу збурення при реакції першого порядку значно більший коефіцієнт підсилення, а вихід на усталений рівень є незначною мірою швидшим. Отже, реакція нульового порядку має більш якіснішу модель.

2.3 Моделювання статичного режиму об'єкта

Зам.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата

2.3.1 Моделювання статичного режиму об'єкта без допущення про нульовий порядок рівняння

При моделюванні статичного режиму об'єкта при нульовому порядку реакції використаємо рівняння теплового і матеріального рівняння після лінеаризації, і отримаємо систему рівнянь прирівнявши праву частину до нуля:

$$\begin{cases} \Delta x_a - k_{\Theta x_a} \cdot \Delta \Theta = 0 \\ \Delta F_p \cdot B1 - \Delta \Theta \cdot B2 + \Delta x_a \cdot B3 + \Delta \Theta_{v1} \cdot B4 + \Delta \Theta_v \cdot B4 = 0 \\ \Delta F_v \cdot D1 + \Delta \Theta_v \cdot D2 - \Delta \Theta_{v1} \cdot D3 + \Delta \Theta \cdot D4 = 0 \end{cases}$$

Відповідно до цієї системи складемо матрицю Крамера для всієї системи:

$$\Delta_{cm} = \begin{pmatrix} x_a & \Theta & \Theta_{v1} \\ 1 & -k_{\Theta x_a} & 0 \\ B3 & -B2 & B4 \\ 0 & D4 & -D3 \end{pmatrix} = B2 \cdot D3 - B3 \cdot k_{\Theta x_a} \cdot D3. \quad (2.3.1.1)$$

Відповідно, складемо вектор-стовпчики керуючих дій і збурення:

$$\begin{aligned} F_p(p) &= \begin{pmatrix} 0 \\ -B1 \\ 0 \end{pmatrix} \\ F_v(p) &= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -D1 \end{pmatrix} \\ \Theta_v(p) &= \begin{pmatrix} 0 \\ -B4 \\ -D2 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (2.3.1.2)$$

Підставивши у загальну матрицю Крамера системи один із вектор-стовпчиків (2.3.1.2) отримаємо матрицю Крамера статичного режиму по каналу «витрата пропан-пропіленової фракції – концентрація алкілату»:

$$\Delta cm_{F_p \rightarrow x_a} = \begin{pmatrix} F_p & \Theta & \Theta_{v1} \\ 0 & -k_{\Theta x_a} & 0 \\ -B1 & -B2 & B4 \\ 0 & D4 & -D3 \end{pmatrix} = B1 \cdot k_{\Theta x_a} \cdot D3. \quad (2.3.1.3)$$

І відповідно матрицю Крамера статичного режиму по каналу збурення «витрата води на охолодження – концентрація алкілату»:

$$\Delta cm_{\Theta_v \rightarrow x_a} = \begin{pmatrix} \Theta_v & \Theta & \Theta_{v1} \\ 0 & -k_{\Theta x_a} & 0 \\ -B4 & -B2 & B4 \\ -D2 & D4 & -D3 \end{pmatrix} = k_{\Theta x_a} (B4 \cdot D3 + D2 \cdot B4). \quad (2.3.1.4)$$

Використовуючи (2.3.1.1) та (2.3.1.3)-(2.3.1.4) виразимо залежність концентрації алкілату від витрати пропан-пропіленової фракції:

$$\Delta x_a = \frac{\Delta cm_{F_p \rightarrow x_a}}{\Delta_{cm}} \cdot \Delta F_p.$$

Проілюструємо цю залежність:

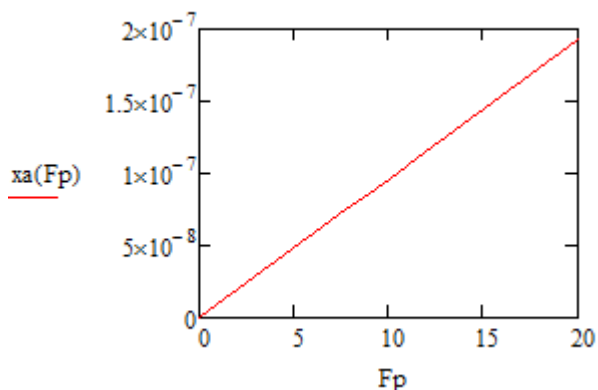


Рисунок 2.3.1.1 – Залежність концентрації алкілату від витрати пропан-пропіленової фракції.

Відповідно виразимо залежність і вплив збурення на концентрацію алкілату в статичному режимі:

$$\Delta x_a = \frac{\Delta cm_{\Theta_v \rightarrow x_a}}{\Delta_{cm}} \cdot \Delta \Theta_v$$

Зам.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата

ЛП ЛА52.07.00.000 ПЗ

Анк.

53

Проілюструємо:

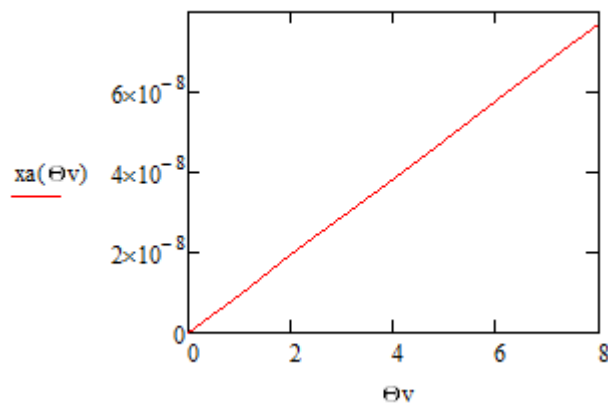


Рисунок 2.3.1.2 – Залежність концентрації алкілату від витрати води на охолодження

Числові результати:

$x_a(F_p) =$

0
$1.276 \cdot 10^{-6}$
$2.553 \cdot 10^{-6}$
$3.829 \cdot 10^{-6}$
$5.105 \cdot 10^{-6}$
$6.381 \cdot 10^{-6}$
$7.658 \cdot 10^{-6}$
$8.934 \cdot 10^{-6}$
$1.021 \cdot 10^{-5}$
$1.149 \cdot 10^{-5}$
$1.276 \cdot 10^{-5}$
$1.404 \cdot 10^{-5}$
...

$x_a(\Theta_v) =$

0
$9.637 \cdot 10^{-9}$
$1.927 \cdot 10^{-8}$
$2.891 \cdot 10^{-8}$
$3.855 \cdot 10^{-8}$
$4.819 \cdot 10^{-8}$
$5.782 \cdot 10^{-8}$
$6.746 \cdot 10^{-8}$
$7.71 \cdot 10^{-8}$

2.3.2 Моделювання статичного режиму об'єкта з допущенням про нульовий порядок рівняння

При моделюванні статичного режиму об'єкта при першому порядку реакції використаємо рівняння теплового і матеріального рівняння після лінеаризації, і отримаємо систему рівнянь прирівнявши праву частину до нуля:

$$\begin{cases} \Delta x_a - k_{\Theta x_a} \cdot \Delta \Theta = 0 \\ \Delta F_p \cdot B11 - \Delta \Theta \cdot B21 + \Delta x_a \cdot B31 + \Delta \Theta_{v1} \cdot B41 + \Delta \Theta_v \cdot B41 = 0 \\ \Delta F_v \cdot D1 + \Delta \Theta_v \cdot D2 - \Delta \Theta_{v1} \cdot D3 + \Delta \Theta \cdot D4 = 0 \end{cases}$$

Відповідно до цієї системи складемо матрицю Крамера для всієї системи:

$$\Delta 1_{cm} = \begin{pmatrix} x_a & \Theta & \Theta_{v1} \\ 1 & -k_{\Theta x_a} & 0 \\ B31 & -B21 & B41 \\ 0 & D41 & -D31 \end{pmatrix} = B21 \cdot D31 - B31 \cdot k_{\Theta x_a} \cdot D31. \quad (2.3.2.1)$$

Відповідно, складемо вектор-стовпчики керуючих дій і збурення:

$$\begin{aligned} F_p(p) &= \begin{pmatrix} 0 \\ -B11 \\ 0 \end{pmatrix} \\ F_v(p) &= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -D11 \end{pmatrix} \\ \Theta_v(p) &= \begin{pmatrix} 0 \\ -B41 \\ -D21 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (2.3.2.2)$$

Підставивши у загальну матрицю Крамера системи один із вектор-стовпчиків (2.3.2.2) отримаємо матрицю Крамера статичного режиму по каналу «витрата пропан-пропіленової фракції – концентрація алкілату»:

$$\Delta 1_{cm_{F_p \rightarrow x_a}} = \begin{pmatrix} F_p & \Theta & \Theta_{v1} \\ 0 & -k_{\Theta x_a} & 0 \\ -B11 & -B21 & B41 \\ 0 & D41 & -D31 \end{pmatrix} = B11 \cdot k_{\Theta x_a} \cdot D31. \quad (2.3.2.3)$$

І відповідно матрицю Крамера статичного режиму по каналу збурення «витрата води на охолодження – концентрація алкілату»:

$$\Delta 1_{cm_{\Theta_v \rightarrow x_a}} = \begin{pmatrix} \Theta_v & \Theta & \Theta_{v1} \\ 0 & -k_{\Theta x_a} & 0 \\ -B41 & -B21 & B41 \\ -D21 & D41 & -D31 \end{pmatrix} = k_{\Theta x_a} (B41 \cdot D31 + D21 \cdot B41). \quad (2.3.2.4)$$

Використовуючи (2.3.2.1) та (2.3.2.3)-(2.3.2.4) виразимо залежність концентрації алкілату від витрати пропан-пропіленової фракції:

$$\Delta x_a = \frac{\Delta l_{cm_{F_p \rightarrow x_a}}}{\Delta l_{cm}} \cdot \Delta F_p.$$

Проілюструємо цю залежність:

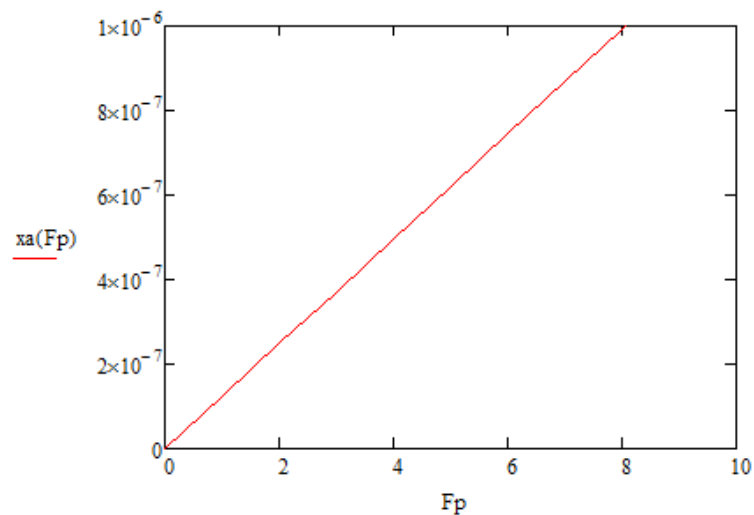


Рисунок 2.3.2.1 – Залежність концентрації алкілату від витрати пропан-пропіленової фракції.

Відповідно виразимо залежність і вплив збурення на концентрацію алкілату в статичному режимі:

$$\Delta x_a = \frac{\Delta l_{cm_{\Theta_v \rightarrow x_a}}}{\Delta l_{cm}} \cdot \Delta \Theta_v$$

Проілюструємо:

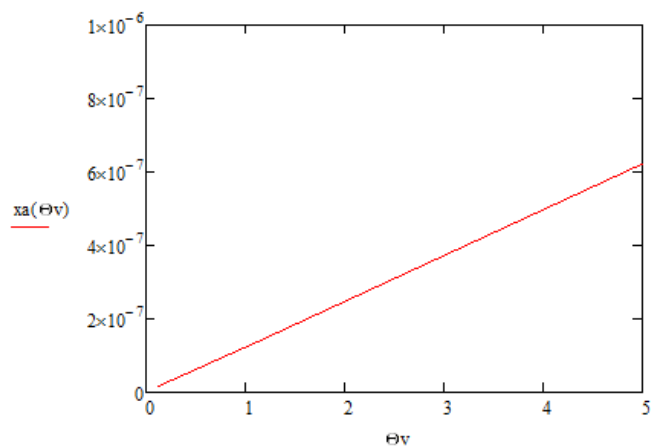


Рисунок 2.3.2.2 – Залежність концентрації алкілату від витрати води на охолодження

Числові результати:

$x_a(\Theta v) =$	$x_a(Fp) =$
0	0
$1.49 \cdot 10^{-8}$	$1.241 \cdot 10^{-7}$
$2.979 \cdot 10^{-8}$	$2.483 \cdot 10^{-7}$
$4.469 \cdot 10^{-8}$	$3.724 \cdot 10^{-7}$
$5.959 \cdot 10^{-8}$	$4.965 \cdot 10^{-7}$
$7.448 \cdot 10^{-8}$	$6.207 \cdot 10^{-7}$
$8.938 \cdot 10^{-8}$	$7.448 \cdot 10^{-7}$
$1.043 \cdot 10^{-7}$	$8.69 \cdot 10^{-7}$
$1.192 \cdot 10^{-7}$	$9.931 \cdot 10^{-7}$
$1.341 \cdot 10^{-7}$	$1.117 \cdot 10^{-6}$
$1.49 \cdot 10^{-7}$	$1.241 \cdot 10^{-6}$
$1.639 \cdot 10^{-7}$	$1.366 \cdot 10^{-6}$
$1.788 \cdot 10^{-7}$	$1.49 \cdot 10^{-6}$
$1.937 \cdot 10^{-7}$	$1.614 \cdot 10^{-6}$
$2.086 \cdot 10^{-7}$	$1.738 \cdot 10^{-6}$
...	...

2.4 Моделювання динамічних характеристик замкненої системи регулювання

Для налаштування системи з реакцією першого порядку будемо застосовувати ПІ-регулятор. Ми обрали саме цю систему, оскільки вона більше потребує в налаштуванні.

2.4.1 Визначення параметрів ПІ-регулятора

Регулятор, як частина системи автоматичного регулювання САР:

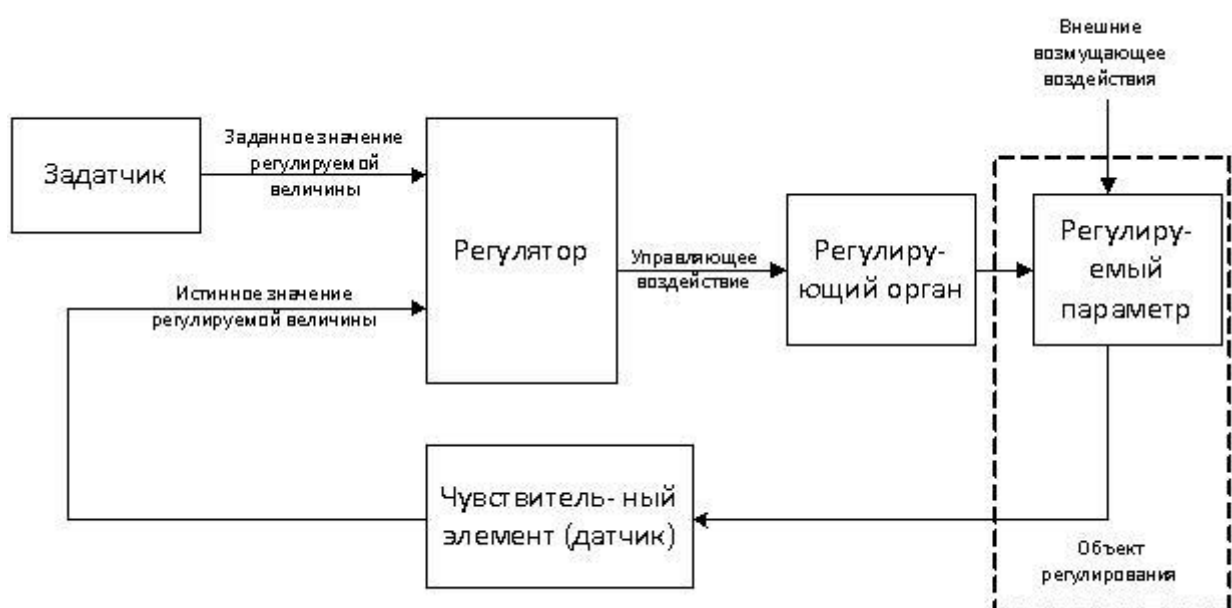


Рисунок 2.4.1.1 – Схема роботи регуляторів

Варіант управління пропорційним інтегральним законом (PID) полягає у використанні тільки пропорційних та інтегральних складових як PI-контролю.

Контролер PI є найпопулярнішим варіантом, навіть більше, ніж повний PID-контролер. Значення виходу контролера $u(t)$ подається в систему в якості вхідної змінної. PI контроль необхідний для неінтегруючих процесів, тобто будь-якого процесу, який зрештою повертається до одного і того ж виходу, отримуючи той же набір входів і збурень. Контролер P-only найкраще підходить для інтеграційних процесів. Інтегральна дія використовується для видалення зсуву і може розглядатися як регульована величина.

2.4.1.1 Налаштування регулятора за допомогою бібліотеки MATLAB PID Tuner

Бібліотека PID Tuner створена для налаштування різних типів регуляторів. В ній міститься панель для регулювання швидкості та кривизни. За допомогою неї можна налаштувати потрібний вигляд перехідної характеристики. А програмний модуль визначить автоматично потрібні параметри регулятора та відразу проілюструє графік перехідної характеристики за обраним каналом. Для того щоб почати роботу в даній бібліотеці потрібно завантажити вже створену передавальну функцію і середовищі MATLAB за допомогою *Import*. А потім перетягувати повзунки доти доки перехідна характеристика не буде виглядати належним чином.

Виконаємо налаштування регулятора замкненої системи по каналу керування «витрата пропан-пропіленової фракції – концентрація алкілатора». Спочатку оголосимо передатну функцію:

```

Command Window

>> W1=tf([-81.57, -0.2172],[575146, 1.329e6, 9920, 1])

W1 =

          -81.57 s - 0.2172
      -----
    575146 s^3 + 1.329e06 s^2 + 9920 s + 1
    
```

Рисунок 2.4.1.2 – Оголошення передатної функції у командному вікні MATLAB

Тепер імпортуємо функцію в PID Tuner та налаштовуємо регулятор:

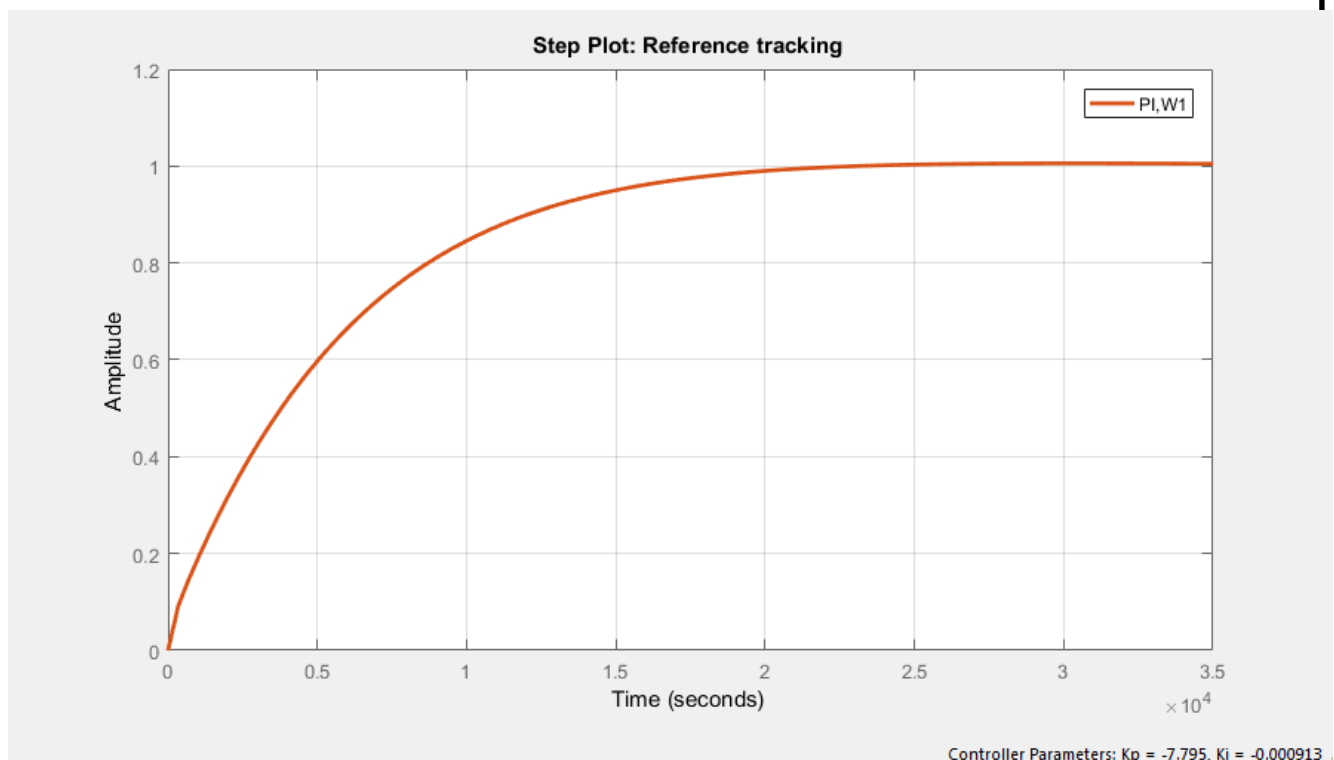


Рисунок 2.4.1.3 Перехідна характеристика замкненої системи по каналу керування «витрата пропан-пропіленової фракції – концентрація алкілату»

Тепер дивимось параметри налаштування, які визначились автоматично:

Controller Parameters	
	Tuned
K_p	-7.7952
K_i	-0.00091305
K_d	n/a
T_f	n/a
Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	1.16e+04 seconds
Settling time	1.82e+04 seconds
Overshoot	0.574 %
Peak	1.01
Gain margin	Inf dB @ Inf rad/s
Phase margin	89 deg @ 0.00018 rad/s
Closed-loop stability	Stable

Рисунок 2.4.1.4 Параметри системи за каналом керування

Аналогічно виконаємо і для каналу збурення «витрата води на охолодження – концентрація алкілату»:

Зам.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата

```
>> W2=tf([-2.338e-10, 7.891, 0.001639],[575146, 1.329e6, 9920, 1])

W2 =

      -2.338e-10 s^2 + 7.891 s + 0.001639
-----
575146 s^3 + 1.329e06 s^2 + 9920 s + 1
```

Рисунок 2.4.1.5 – Оголошення передатної функції у командному вікні MATLAB

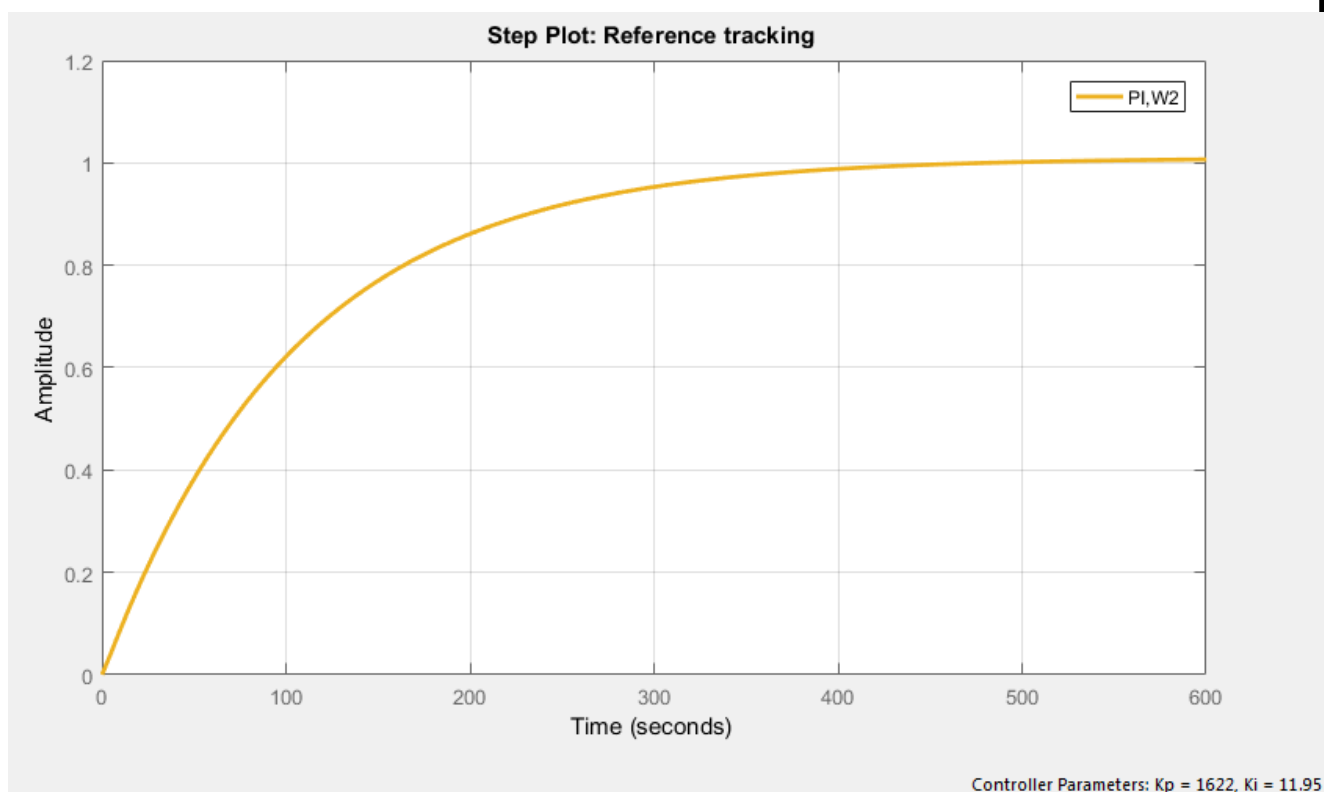


Рисунок 2.4.1.6 Перехідна характеристика замкненої системи по каналу збурення «витрата води на охолодження– концентрація алкілату»

Зам.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛП ЛА52.07.00.000 ПЗ

Арк.

60

Controller Parameters	
	Tuned
Kp	1621.5938
Ki	11.9484
Kd	n/a
Tf	n/a
Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	220 seconds
Settling time	366 seconds
Overshoot	0.909 %
Peak	1.01
Gain margin	251 dB @ 2.79e+05 rad/s
Phase margin	89.2 deg @ 0.00965 rad/s
Closed-loop stability	Stable

Рисунок 2.4.1.7 Параметри системи за каналом збурення

2.4.1.2 Налаштування регулятора за допомогою бібліотеки *MATLAB* *SISOTool*

Для налаштування параметрів регулятора відмінно підійде підпрограма *MATLAB SISOTool*. Для її запуску потрібно викликати:

```
>> rltool
```

Відкривається програмне вікно і пропонується вибрати структуру системи, а також завантажити ланку чи вибрати її складові.

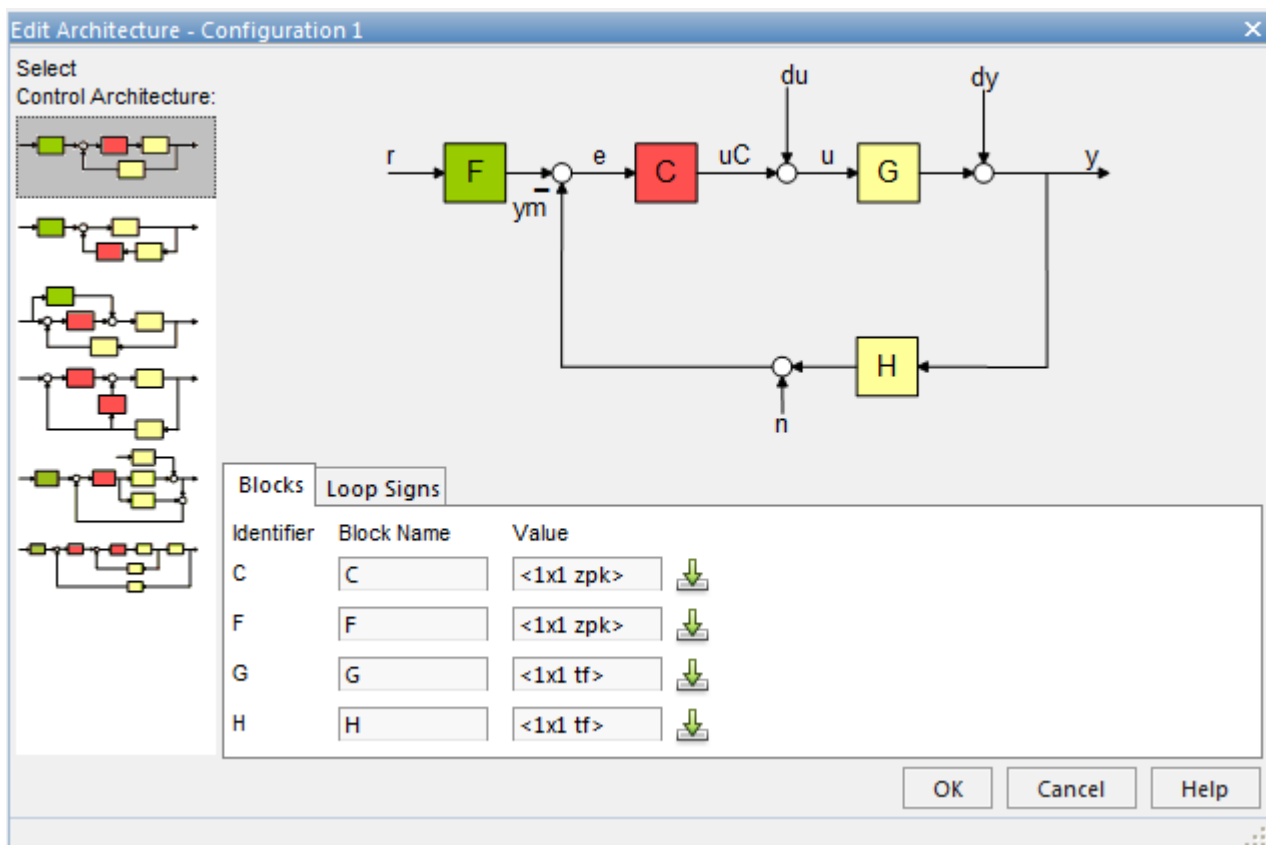


Рисунок 2.4.1.8. Вікно редактора SISOTool

(де F – компенсатор; C – регулятор; G – об’єкт керування; H – датчик.)

Після цього потрібно завантажити вже наперед оголошену передатну функцію і вибрати метод налаштування.

Налаштування ПІ-регулятора для замкненої системи по каналу керування «витрата пропан-пропіленової фракції – концентрація алкілату»:

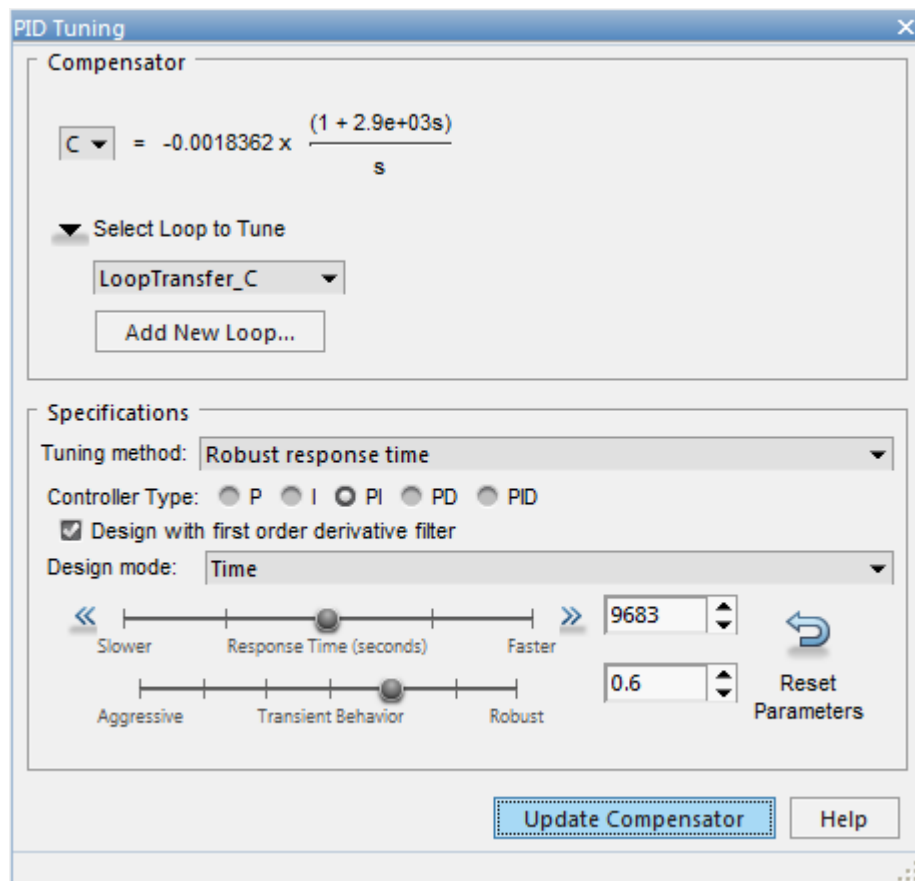


Рисунок 2.4.1.9 Вікно налаштування регулятора

Побудуємо діаграму Бode для заданого каналу:

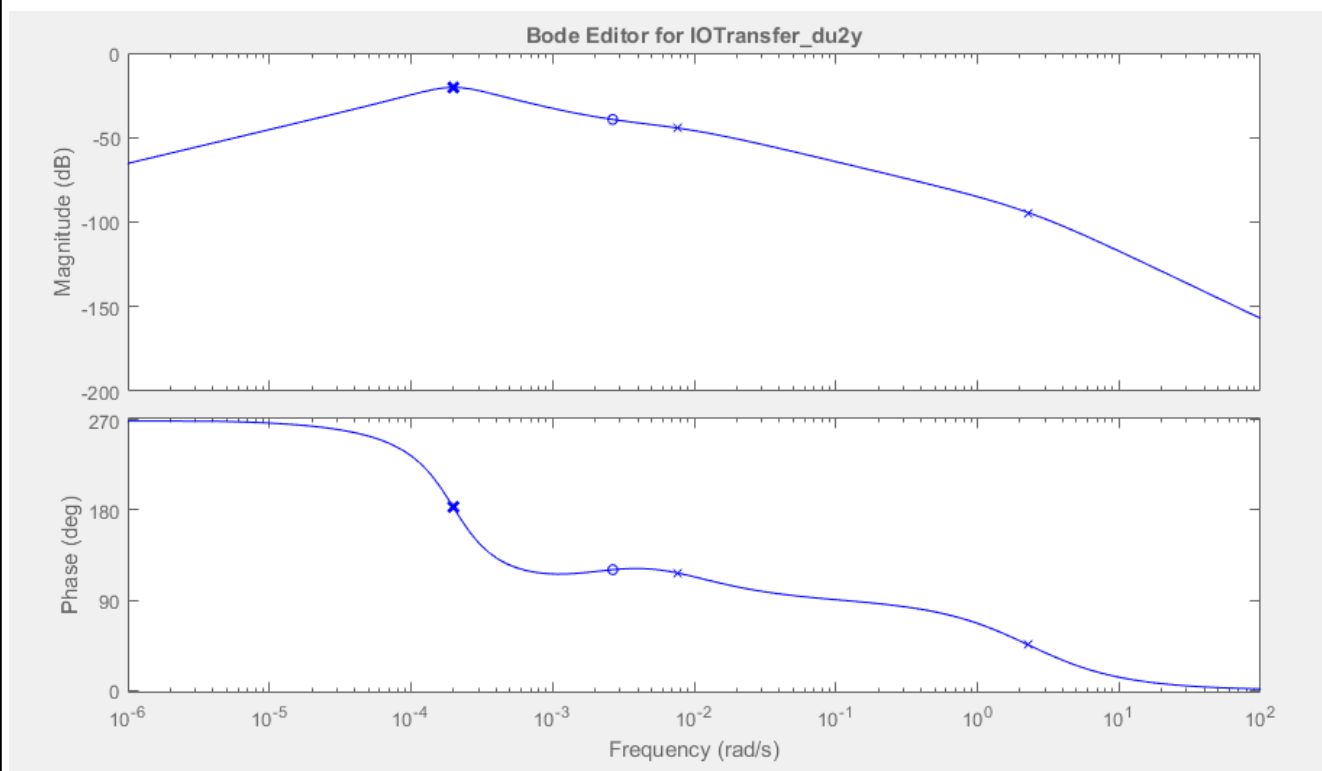


Рисунок 2.4.1.10 Діаграма Бode

Зам.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата

ЛП ЛА52.07.00.000 ПЗ

Анк.

63

За допомогою автоматичного налаштування отримуємо налаштування для ПІ-

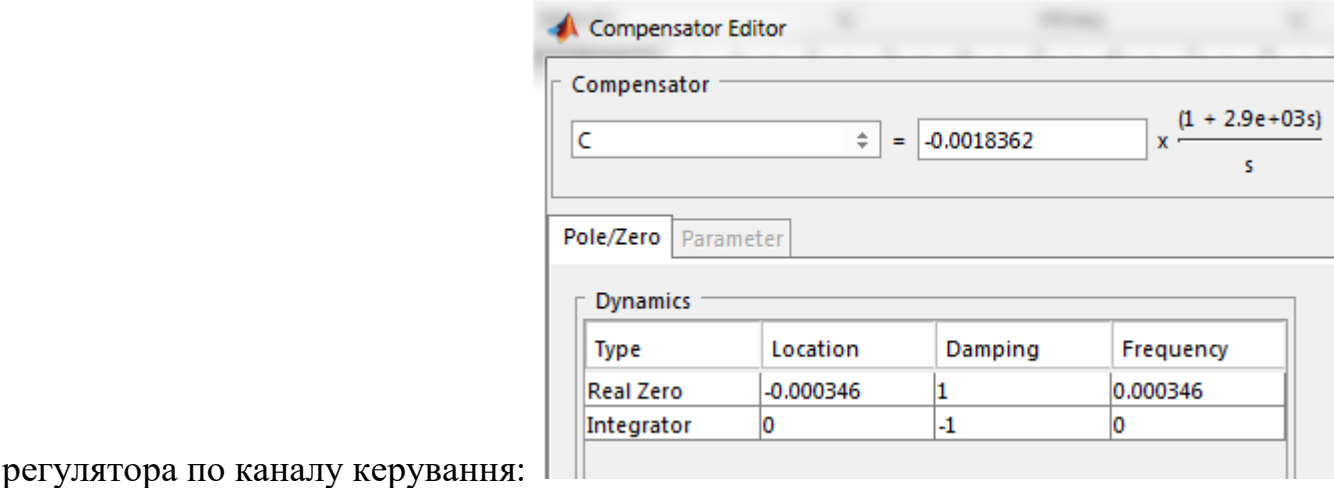


Рисунок 2.4.1.11 Налаштування ПІ-регулятора

І відповідно отримаємо перехідну характеристику:

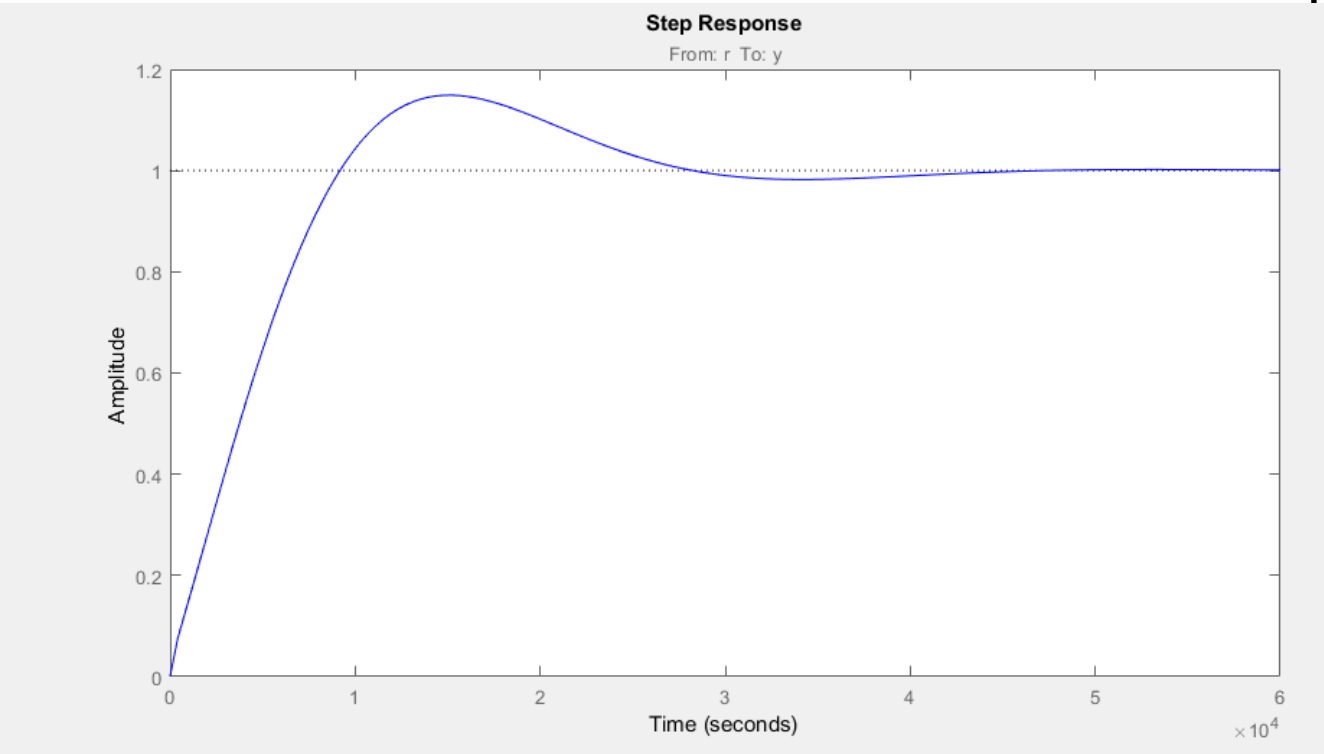


Рисунок 2.4.1.12 Перехідна характеристика по каналу керування

Аналогічно і для каналу збурення:

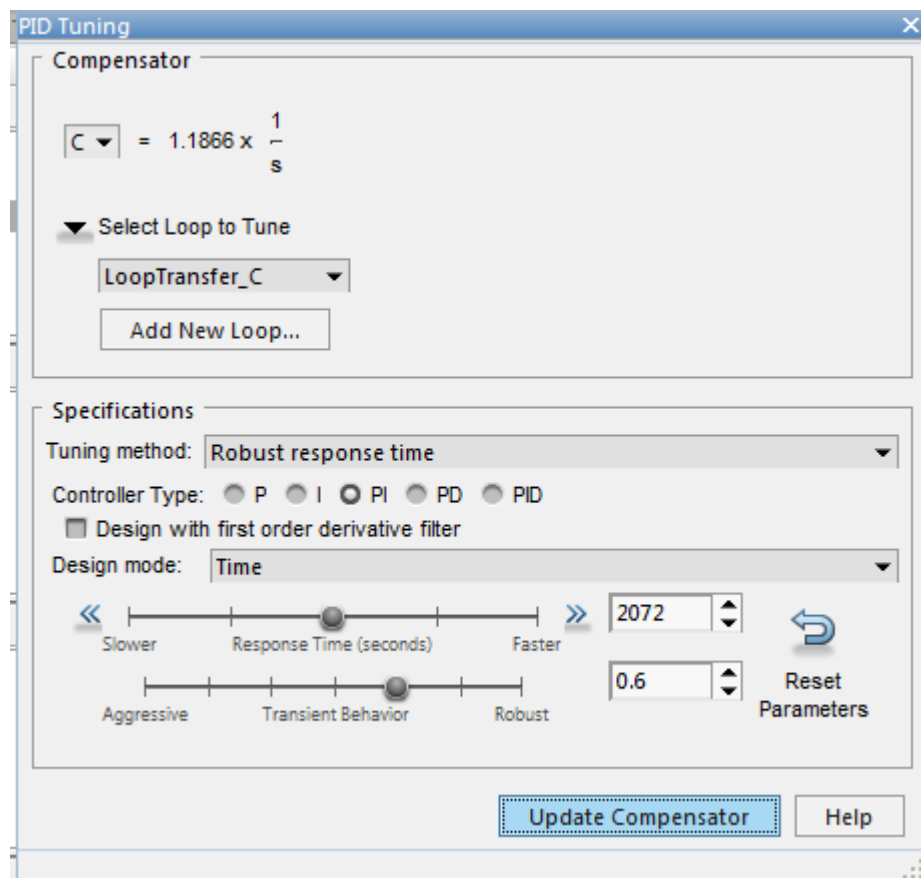


Рисунок 2.4.1.13 Вікно налаштування регулятора

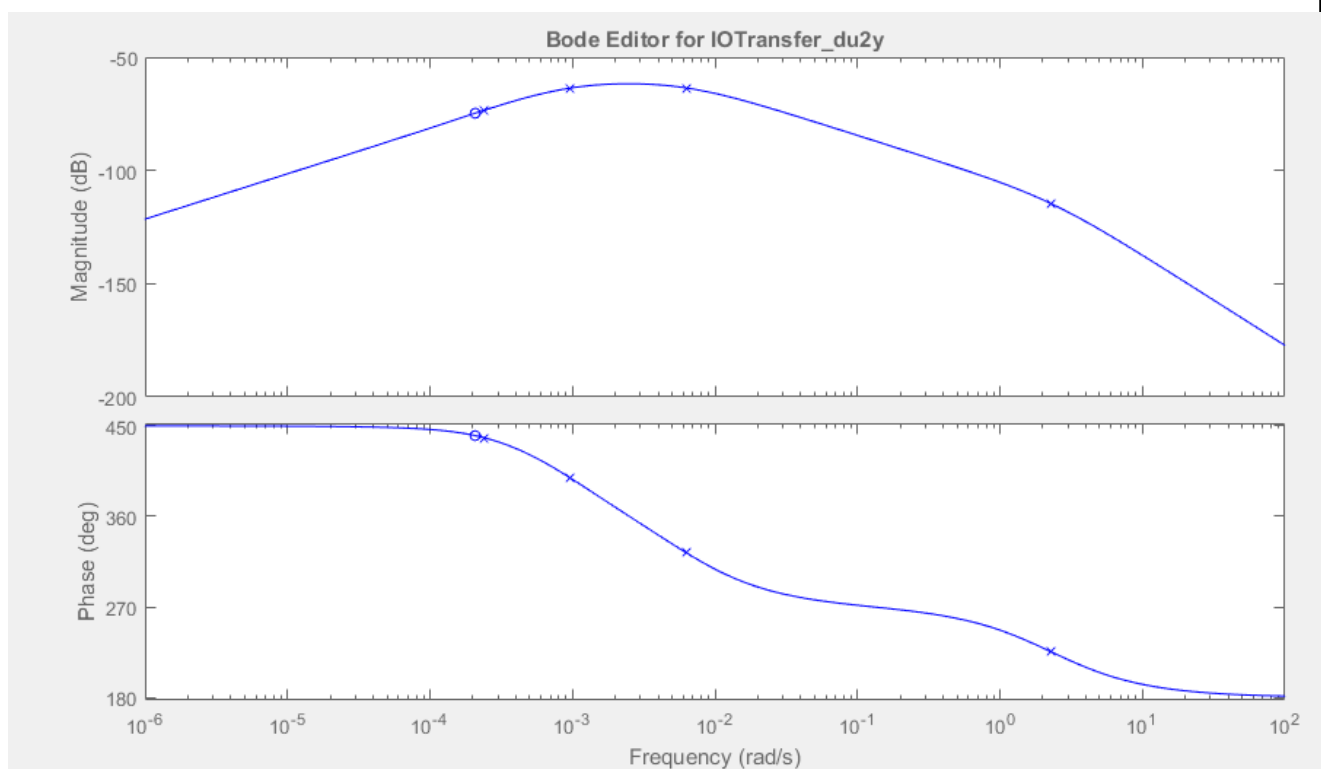


Рисунок 2.4.1.14 Діаграма Бode для каналу збурення

Зам.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата

ЛП ЛА52.07.00.000 ПЗ

Анк.

65

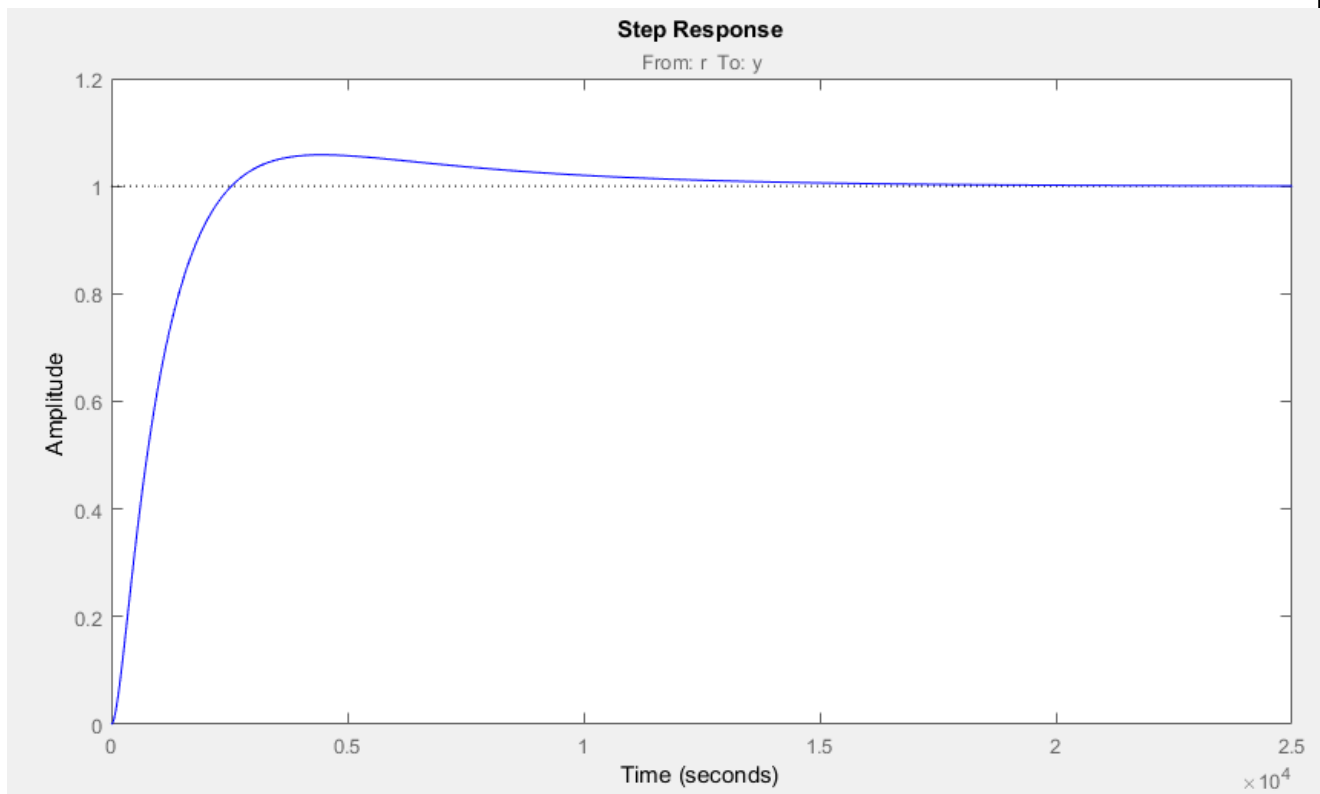


Рисунок 2.4.1.15 Перехідна характеристика по каналу керування

Порівнявши графіки на рисунках (2.4.1.3), (2.4.1.6), (2.4.1.12), (2.4.1.15) можна дійти висновку, що за обраними критеріями, а саме час виходу на усталене значення, швидкодія, перегулювання найкращим є метод PID Tuner, оскільки він має найменший час виходу і немає зовсім перерегулювання, як по керуванню, так і по збуренню.

2.5 Сигнальний граф для відображення динамічних характеристик технологічного об'єкта керування

Вплив окремих параметрів на процеси в алкілаторі відображено на сигнальному графі, наведеному на рисунку 2.5.1:

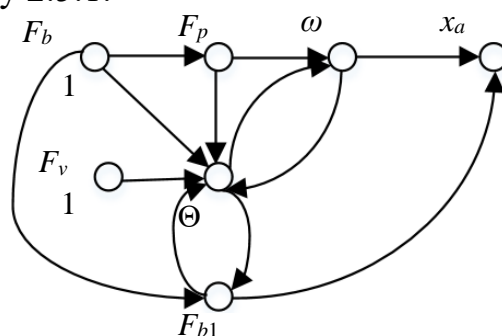


Рисунок 2.5.1 Сигнальний граф параметрів алкілатора:

x_a і Θ – регульовані величини; F_b і F_v – керувальні впливи, решта – проміжні змінні(параметри стану)

Зам.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата

ЛП ЛА52.07.00.000 ПЗ

Арк.

66

В цілому цей сигнальний граф містить 7 вузлів, 11 гілок і 2 дотичні контури.

Вплив F_v на Θ відбувається за одним шляхом $F_v \rightarrow \Theta$; вплив F_v на x_a відбувається за двома шляхами $F_v \rightarrow \Theta \rightarrow \omega_a \rightarrow x_a$ і $F_v \rightarrow F_{b1} \rightarrow x_a$. Вплив F_b на x_a відбувається за шляхами $F_b \rightarrow F_p \rightarrow \omega_a \rightarrow x_a$, $F_b \rightarrow \Theta \rightarrow F_{b1} \rightarrow x_a$ і $F_b \rightarrow F_{b1} \rightarrow x_a$ (Рис.2).

Маючи лінеаризовані зв'язки між окремими вузлами і використовуючи формулу Мейсона можна прослідковувати вплив кожної із керуючих дій на будь-який параметр стану, і тому числі і регульовані величини x_a і Θ .

					ЛП ЛА52.07.00.000 ПЗ	Анк.
Зам.	Анк.	№ докum.	Підпис	Дата		67

3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Розробка схеми автоматизації технологічної системи для алкілування бензолу пропіленом у рідкій фазі

Схема автоматичного контролю алкілування бензолу включає в себе контури контролю і сигналізації.

До контурів контролю входять контури контролю витрати, концентрації, рівня та температури.

На підставі здійсненого аналізу особливостей технологічного процесу алкілування бензолу пропіленом у рідкій фазі, слід передбачити автоматичний контроль таких параметрів:

- витрату каталізатора , на вході в апарат 9;
- температуру в алкілаторі 10, яка не повинна перевищувати 85°C;
- витрату свіжого бензолу на вході у збірник для розбавлення із зневодненим бензолом;
- температуру у теплообміннику 4, яка не повинна перевищувати 35°C, для забезпечення процесу зневоднення бензолу;
- температуру в розсільному холодильнику, яка не повинна перевищувати 35°C для охолодження ПАБу;
- витрату ПАБу, що надходить у розсільний холодильник 13;
- витрату луку у нейтралізаційній колоні 26;
- температуру у холодильнику 13, для конденсації парів бензолу;
- концентрацію алкілату на виході з установки, повинна сягати 90% чистого алкілату;

Результати аналізу подані у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Параметри контролю виробництва

№ п/п	Найменування стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Найменування параметра, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації (контроль,
-------	--	---	---	--

				регулювання, сигналізація)
1	Трубопровід, алюміній хлорид	Витрата	-	Контроль
2	Алкілатор, суміш алкілату	Температура	85°C	Контроль, сигналізація
3	Збірник бензолу, бензол	Витрата	-	Контроль
4	Теплообмінник, бензол	Температура	35°C	Контроль, сигналізація
5	Розсільний холодильник	Температура	35°C	Контроль, сигналізація
6	Розсільний холодильник, ПАБ	Витрата	-	Контроль
7	Нейтралізаційна колона, луг	Витрата	-	Контроль
8	Конденсатор	Температура	-	Контроль, сигналізація
9	Трубопровід, алкілат	Концентрація	90%	Контроль

Контур 1 забезпечує контроль витрати каталізатора на вході в апарат для розчинення каталізатора та включає в себе: витратомір – сенсор витратоміра для сипких речовин(1-1); модуль обробки витратоміра для вимірювання витрати сипких речовин (1-2); автоматичний реєструючий і показуючий вторинний прилад (1-3).

Контур 2 забезпечує контроль температури в алкілаторі, а також має бути оснащений технологічною сигналізацією та включає: термоперетворювач опору платиновий НСХ 50П (2-1); автоматичний реєструючий і показуючий вторинний прилад з пристроєм сигналізації (2-2).

Контур 3 контролює витрату бензолу та включає в себе: витратомір - діафрагма камерна, $P_y = 0,6$ МПа (3-1); вимірювальний тензоперетворювач перепаду тиску з блоком добування квадратного кореня (3-2); автоматичний реєструючий і показуючий вторинний прилад з пристроєм сигналізації (3-2).

Контур 4 забезпечує контроль температури в теплообміннику, а також має бути оснащений технологічною сигналізацією та включає: термоперетворювач опору платиновий НСХ 50П (4-1); автоматичний реєструючий і показуючий вторинний прилад з пристроєм сигналізації (4-2).

Контур 5 забезпечує контроль температури в розсільному холодильнику, а також має бути оснащений технологічною сигналізацією та включає: термоперетворювач опору платиновий НСХ 50П (5-1); автоматичний реєструючий і показуючий вторинний прилад з пристроєм сигналізації (5-2).

Контур 6 контролює витрату ПАБу та включає в себе: витратомір - діафрагма камерна, $P_y = 0,6$ МПа (6-1); вимірювальний тензоперетворювач перепаду тиску з блоком добування квадратного кореня (6-2); автоматичний реєструючий і показуючий вторинний прилад з пристроєм сигналізації (6-3).

Контур 7 контролює витрату луку та включає в себе: витратомір - діафрагма камерна, $P_y = 0,6$ МПа (7-1); вимірювальний тензоперетворювач перепаду тиску з блоком добування квадратного кореня (7-2); автоматичний реєструючий і показуючий вторинний прилад з пристроєм сигналізації (7-3).

Контур 8 забезпечує контроль температури в конденсаторі, а також має бути оснащений технологічною сигналізацією та включає: термоперетворювач опору платиновий НСХ 50П (8-1); автоматичний реєструючий і показуючий вторинний прилад з пристроєм сигналізації (8-2).

Контур 9 забезпечує контроль концентрації алкілату та включає: первинний (проточний) перетворювач кондуктометричного аналізатора рідини АЖК-1 з пристроєм сигналізації (9-1); вторинний прилад кондуктометричного аналізатора рідини кондуктометричного АЖК-1 (9-2).

Контур 10 забезпечує контроль електродвигуна насоса.

Контур 11 забезпечує контроль електродвигуна насоса.

					ЛП ЛА52.07.00.000 ПЗ	Анк
						70
Зам.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

3.2 Розробка принципової електричної схеми з дистанційного управління електродвигунами технологічного обладнання та системи аварійного захисту і технологічних блокувань

Постановку задачі по керуванні роботою електродвигунів будемо розглядати на прикладі електродвигуна М7. Для всіх інших – буде таким же, оскільки всі 9 моторів одного типу.

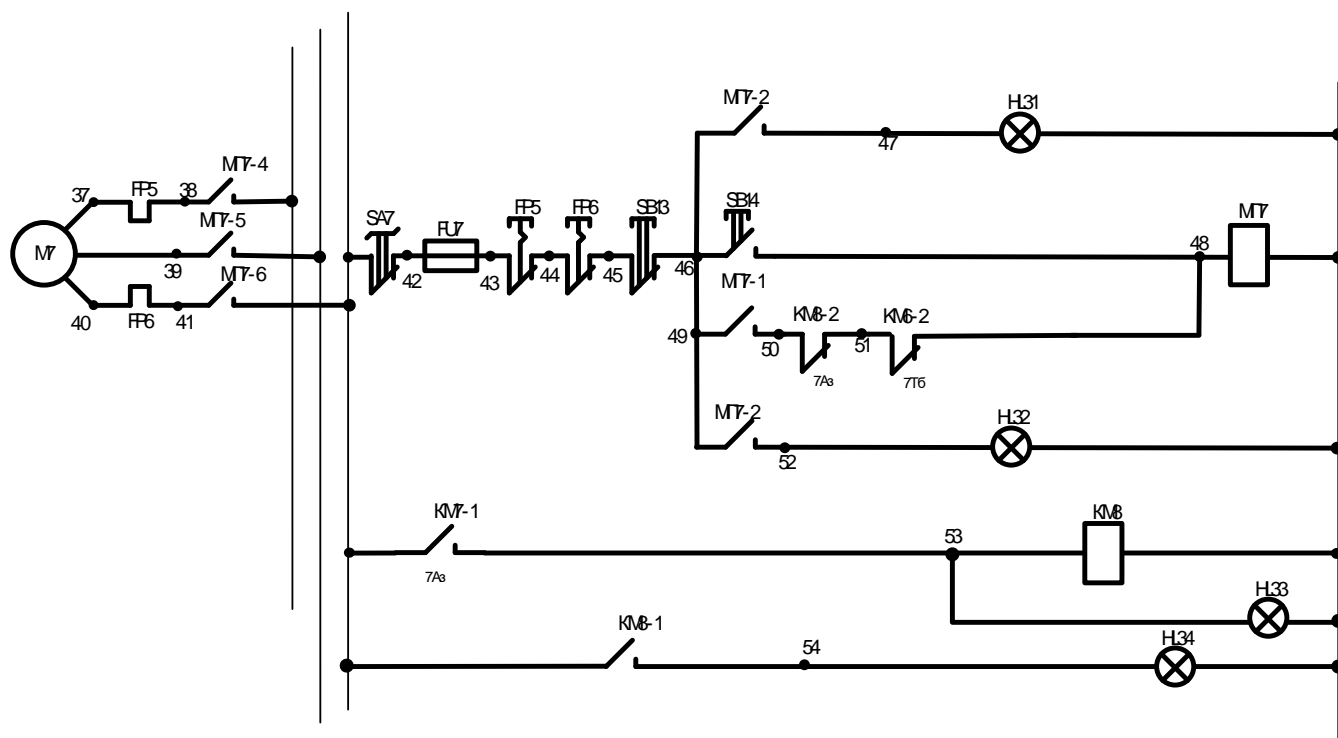


Рисунок 3.1 –Принципова електрична схема з дистанційного управління електродвигуна

На загальній схемі передбаченні автоматичні вимикачі струму, які позначенні *FP1, FP2, FP3, FP4, FP5, FP6, FP7, FP8* і відповідно плавкі запобіжники *FU1, FU2, FU3, FU4*.

Вмикання живлення електродвигуна М7

Ввімкнення мотора М7 виконується за допомогою нормально розімкнутого контакту *SB14*, так звана кнопка «ПУСК». При натисканні даної кнопки подається струм на електромагнітний пускач МП7, в результаті чого відбувається замикання контактів МП7-4, МП7-5, МП7-6. Через них подається струм трифазного живлення на МП7. Також одночасно замикається контакт МП7-1, та розмикається – МП7-2, що і викликає відключення сигнальної лампи *HL31*. Відповідно до цього, при замиканні МП7-3 вмикається сигнальна лампочка зеленого кольору, яка

позначається *HL30*, яка вказує на подачу живлення до електродвигуна. Після відпускання кнопки *SB14* струм, через замкнений контакт МП7-2 продовжує подаватися на електродвигун М7. На схемі показано, що контакти МП7-1 та МП7-3 є нормально розімкненими. Контакти МП7-4, МП7-5, МП7-6 одночасно є замкненими під час натискання і відпускання кнопки *SB14*. А контакти МП7-1 та МП7-3 є розімкнутими.

Вимикання електродвигуна М7

Вимкнення електродвигуна відбувається за допомогою кнопки «СТОП». Яка на схемі позначення як *SB13*. При натисканні вказаної кнопки відбувається розімкнення ланцюга через МП7-1 для струму на електромагніт пускача МП7. І викликає відключення і одночасне розмикання контактів МП7-4, МП7-5, МП7-6. В цей же момент відбувається розмикання МП7-1 та МП7-3, в результаті чого струм не буде надходити до лампочки *HL32*. При натисканні *SB13* буде замикатися контакт МП7-1, яка вказує на відключення живлення електродвигуна М7. Вона відповідно має червоний колір.

Відповідно розглянемо як відбувається аварійний захист та технічне блокування електродвигуна.

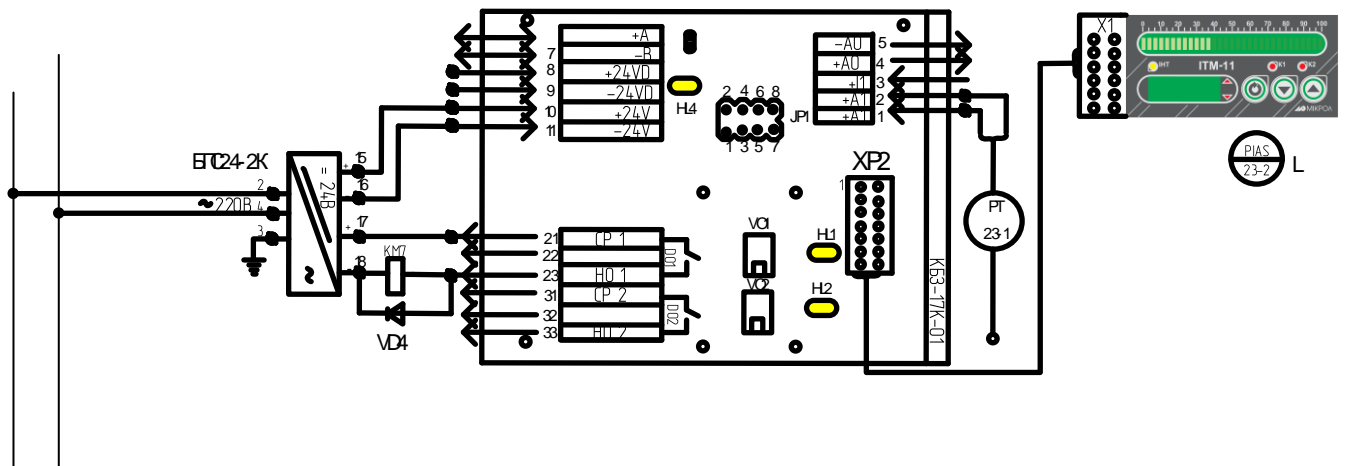


Рисунок 3.2 –Принципова електрична схема з дистанційного управління електродвигуна та системою аварійного захисту і технічного блокувань

На схемі позначення PIAS будемо використовувати для позначення приладу ІТМ-11 МІКРОЛ. Це прилад мікропроцесорної техніки, який має плату клемних з'єднань КБЗ-17-К01. До даної плати йде підключення корпусу приладу з дисплеями та центральним мікропроцесором, за допомогою шлейфу. До плати

					ЛП ЛА52.07.00.000 ПЗ	Арк
Зам.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		72

КБЗ-17-01К подається постійний струм 24 V від двоканального джерела живлення БПС24-2К.

В результаті аварії відцентрового багатоступінчастого насосу сигналізаційний блок на ІТМ-11 буде розпізнавати зменшення тиску на виході насосу і формувати для системи аварійного захисту електродвигуна М7 дискретний сигнал за допомогою реле VO1 та контакту DO1.

При спрацюванні VO1 та DO1 буде спрацьовувати КМ7 (електромагнітне реле) та контакт КМ8-1 підключить струм від живлення 220 V до ланцюга живлення електромагнітного реле КМ8. В результаті цього розімкнеться контакт КМ8-2 і виконає функцію аварійного захисту 7 Аз. Внаслідок цього автоматично відключиться ланцюг живлення магнітного пускача МП7.

3.3 Монтажно-комутаційна схема для принципової електричної схеми дистанційного управління, аварійного захисту та технологічних блокувань електродвигуна

Розробку можнажно-комутаційної схеми наведемо на електромоторі М9. Для всіх інших двигунів вона буде аналогічна з відповідними позначеннями. Монтажно-комутаційна схема виконується на основі клемних колодок.

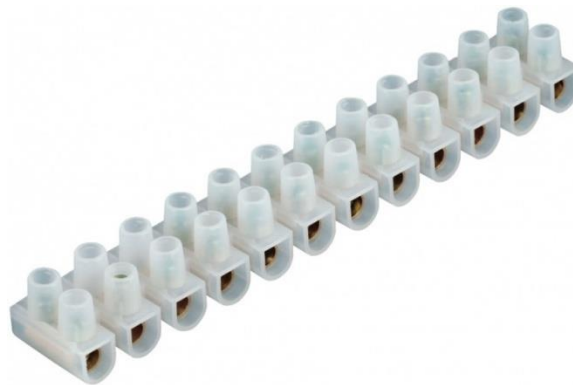


Рисунок 3.3 –Приклад клемної колодки

Для розробки даної схеми є декілька правил:

- 1) Креслення монтажно-комутаційної схеми зображується у неробочому стані;
- 2) До кожної клеми на клемній коробці потрібно зображати підключення тільки двох приєднувальних провідників між відповідними елементами схеми;
- 3) Потрібно використовувати необхідну кількість відповідних клемних колодок.

Приклад даної схеми до електродвигуна М9 в ДП ЛА52.07.03.000 СхЕ.

					ЛП ЛА52.07.00.000 ПЗ	Арк
Зам.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		73

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Для створення безпечного режиму роботи на підприємстві необхідне чітке виконання регламенту, інструкцій по охороні праці та промисловій безпеці відділення, інструкцій по окремим видам робіт. Для цього був розроблений розділ «Охорони праці», який включає всі небезпечні аспекти роботи, а також їх усунення на виробництві

Відповідно до теми дипломного проекту «Автоматизація технологічного системи для алкілування бензолу пропіленом у рідкій фазі», у проекті розробляється автоматизація процесу алкілування бензолу пропіленом у рідкій фазі. В даній роботі розроблені заходи, що гарантують безпеку обслуговуючого персоналу в процесі експлуатації приладів, засобів автоматизації, щитових пристроїв системи автоматики у відповідності до Державних актів, що забезпечують виконання Закону України «Про охорону праці».

При обслуговуванні системи автоматизації, оператор знаходиться в операторській. Об'єм операторської 56 м³, площа 20 м², в ній працює 1 оператор.

На робочому місці оператора наявні наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- виробничий шум;
- електронебезпека;
- пожежна безпека.

4.1 Мікроклімат виробничого приміщення

Провівши аналіз можливих небезпечних і шкідливих виробничих факторів необхідно зробити дослідження операторської на електронебезпечність, метеорологічні умови, освітлення, пожежну безпеку, а також зробити дослідження по захисту від шуму.

Показниками, що характеризують мікроклімат, є:

- температура повітря;
- відносна вологість повітря;
- швидкість руху повітря.

Фактичні метеорологічні умови в операторській для роботи середньої важкості:

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Арк
						74
Зам.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

	Температура, °C		Відносна вологість повітря, %		Швидкість руху повітря, м/с	
	Факт ичне	Оптим альне	Факт ичне	Оптим альне	Факт ичне	Оптим альне
Теплий період року	20-23°C	18-25°C	40-75%	35-80%	0,3 м/с	0,25-0,3 м/с
Холодний період року	10-18°C	9-18°C	40-65%	40-80%	0,2 м/с	0,15-0,2 м/с

Для того щоб забезпечити ці показники в теплий період року необхідно забезпечити операторську наявність кондиціонерів, пристроїв для охолодження приміщення, вентиляторів, тощо. Для виконання заданих показників у холодний період року необхідно забезпечити приміщення обігрівачами, утепленням стін, вікон і дверей, батареями, іншими носіями тепла.

Отже видно, що фактичні метеорологічні умови задовольняють нормам ДСНЗ.3.6.042-99.

Обслуговуючий персонал допускається до роботи у встановленому нормами спецодязі та спецвзутті, зобов'язаний мати при собі справні засоби індивідуального захисту. Засоби захисту (індивідуальний протигаз) обов'язково перевіряються кожної зміни перед початком роботи.

Не допускати порушення нормального технологічного режиму на всіх стадіях процесу.

Роботи вести лише на справному обладнанні, оснащеному всіма необхідними та справно діючими запобіжними пристроями, контрольновимірними та регулюючими пристроями, сигналізацією та блокуваннями. Всі контрольно-вимірні прилади, системи автоматики та блокування мають знаходитися в справному стані.

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Арк
Зам.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		75

При виявленні якихось несправностей в роботі обладнання – своєчасно ставити до відома начальника цеху, механіка цеху. При необхідності, зупинити обладнання та підготувати його до здачі в ремонт.

4.2 Виробниче освітлення

Роботи, виконувані в операторській, зв'язані зі зняттям показань з контрольно-вимірювальної апаратури, відносяться до III розряду зорових робіт.

Приміщення не забезпечене вікнами, тому денне світло у операторській відсутнє. У темний і світлий час доби використовують штучне висвітлення. По ДНБ В 25.28-2006 освітленість відповідна III розряду зорових робіт при газорозрядних лампах повинна бути $E_n=250\text{Лк}$

Приймемо лампи типу світлодіодна трубчаста «ЕВРОСВЕТ 9 Вт 6400К L-600-6400-13 T8 G13» $F_{\text{л}}=600$ Лм світловий потік світлодіодних ламп.. Кількість таких ламп становить 3 штуки, термін її роботи 25 000 годин.

Поставимо три світильники, що забезпечує освітленість приміщення для даного розряду зорових робіт.

При цьому $E_{\text{факт}}=260\text{Лк}$. Освітленість приміщення відповідає нормам, відповідно до ДНБ В 25.28-2006.

4.3 Виробничий шум

Джерелами шуму є: трубопроводи, система кондиціонування та насоси.

Рівень шуму становить:

$$L = 100 \text{ дБА.}$$

Захист від шуму досягається розробкою шумобезпечної техніки, застосуванням засобів і методів індивідуального і колективного захисту, будівельно-акустичними методами. Засоби колективного захисту діляться стосовно джерела шуму: понижуючі шум у джерелі виникнення, понижуючі шум на шляхах його поширення. По способу реалізації:

– Акустичні. Ґрунтуються на акустичному вимірі помешкання і за принципом дії підбираються засоби звукоізоляції, звукопоглинання, віброізоляція, демпфірування, застосування приглушувачів шуму;

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						76
Зам.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

– Будівельно-акустичні методи застосовують: екрани, звукоізоляцію, кабінні спостереження, дистанційне керування, кожухи, ущільнення і т. д. Найбільше ефективні звукоізолюючі матеріали: трипласт (композиційний матеріал); пластобетони з наповненням з опилок деревини, соломи і т. д. Звуковбирні матеріали: мармур, бетон, граніт, цеглина, ДВП, ДСП, войлок, мінераловата, матеріали з щільною перфорацією;

– Архітектурно-планувальні: раціональне розміщення робочих місць; раціональний режим праці і відпочинку. Організаційно-технічні.

Активна форма захисту – генерація шуму в протифазі до джерела. Засоби індивідуально захисту: навушники, вушні вклади, шлемофони, каски.

Для зменшення рівня шуму від трубопроводів, для них додатково передбачені комплектні шумозахисні кожухи. Завдяки усім цим заходам шумоізоляції, рівень шуму на даному об'єкті складає $L = 60$ дБА., що не перевищує допустимі значення, відповідно до ДСНЗ.3.6.037-99. Допустимі норми вібрації на робочих місцях (обладнання, що викликає вібрацію) не перевищує допустимих значень. Управління витримує рівень вібрації з частотою до 25 Гц і з амплітудою не більше 0,1 м.

4.4 Електробезпека

Приміщення операторської відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою по ступеню враження електричним струмом, так як на струмопровідний і можливо одночасний дотик людини до металевих конструкцій будинку, що має з'єднання з землею і металевим корпусом електроустаткування і приладів.

Не допускати включення електрообладнання при несправному заземленні.

У операторській встановлені прилади, що працюють під напругою 220/380 В, частотою 50 Гц. Мережа з ізолюваною нейтраллю.

Основні причини нещасного випадку від впливу електричного струму наступні:

1) ушкодження струмопровідних ліній електрокабелів, порушення ізоляції і заземлення щитів, пультів і електроустаткування;

2) порушення правил електробезпечності при експлуатації електричного устаткування і освітлення (спроби самовільного усунення несправностей, заміни світильників);

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
Зам.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		77

- 3) робота на несправному устаткуванні;
- 4) дотик до відкритих проводок струмоведучих частин;
- 5) пробій на установці (напруга дотику);
- 6) крокова напруга;
- 7) електрична дуга.

До заходів щодо захисту від поразки електричним струмом відносяться:

1) Ізоляція в електроустановках

Ізоляція - шар діелектрика, яким покривають поверхню струмоведучих елементів, або конструкція з непровідного матеріалу, за допомогою якого струмоведучі частини відокремлюються від інших частин електрообладнання.

Ізоляція буває таких видів:

- робоча – електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист від поразки електричним струмом;
- додаткова – електрична ізоляція, передбачена додатково до робочої ізоляції для захисту від ураження електричним струмом в разі ушкодження робочої ізоляції;
- подвійна – ізоляція, яка складається з робочої і додаткової ізоляції;
- посилена – поліпшена робоча ізоляція, яка забезпечує такий же захист від ураження електричним струмом, як і подвійна ізоляція;
- опір ізоляції 0.5 МОм.

На ТС використовується електромагнітне блокування безпеки, яке застосовується для запобігання неправильним діям обслуговуючого персоналу і застосовується в приводах до роз'єднувачів і заземлювачів.

2) Мала напруга

Це номінальна напруга не більше 42 В між фазами і по відношенню до землі, застосовується у цілях захисту від ураження електричним струмом.

3) Орієнтація в електроустановках

Засоби орієнтації дозволяють персоналу орієнтуватися при виконанні робіт і застерігають його від помилкових дій. Орієнтацію забезпечує маркіровка частин електрообладнання.

4) Захисне заземлення в аварійному режимі

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						78
Зам.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Являється ефективним методом захисту при живленні електрообладнання від електричних мереж з ізолюючою нейтраллю та аварійним відключенням. Дія заземлення основана на зниженні напруги дотику, що досягається за рахунок малого опору ($R_{\text{дон}} \leq 4 \text{ Ом}$) заземлення в електроустановках з ізолюючою нейтраллю або за рахунок збільшення потенціалу.

Захист від заносу високого потенціалу і статичної електрики виконати шляхом приєднання на вводах у будівлі усіх металевих трубопроводів та металевих частин будівельних конструкцій до пристрою заземлення. Електробезпека на виробництві відповідає ГОСТ 12.1.030-86.

4.5 Пожежонебезпека

В операторській при короткому замиканні може відбутися загорання кабелів, з виділенням диму і отруйних речовин. Приміщення відповідно НАПБ Б 07.005-86 – відноситься до категорії В – горючі та легкогорючі речовини, які здатні тільки горіти та вибухонебезпечні. Клас зони П-І.

Виходячи з СНиП 2.01.02-85, категорії В пожежної небезпеки виробництва, вибираємо II степінь вогнестійкості.

Основними причинами виникнення пожежі можуть бути:

- порушення елементарних правил пожежної безпеки;
- несправність електроустаткування, електромереж;
- порушення електротехнічних правил.

Для здійснення безпеки обслуговуючого персоналу при експлуатації технічних засобів автоматичної пожежної сигналізації і виконанні ремонтних робіт передбачено:

- використання пожежних оповіщувачів згідно умов їх експлуатації;
- відсутність радіоізотопних оповіщувачів;
- гучномовне оповіщення персоналу про пожежу;
- об'єктове світлозвукове оповіщення персоналу про пожежу.

Допустима відстань від самого віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу – 7,5 м. З коридору повинно бути, як правило, не менше 2-ох евакуаційних виходів. Враховуючи об'єми приміщень, категорію пожежної

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
Зам.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		79

небезпеки виробництва і ступень вогнестійкості будівлі, визначаємо необхідну ширину евакуаційних виходів. Для проходів – не менше 1 м, коридорів – 1,4 м, двері – 0,8 м і марші – 1,05 м, площадка сходів – 1,05 м. Висота дверей і проходів на шляхах евакуації повинна бути не менше 2 м. Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися по напрямленню виходу з будівлі (СНиП 2.09.02-85).

Для гасіння електропроводок і електроустаткування під напругою передбачені порошкові вогнегасники САМ-6 – 2 шт та ручні порошкові вогнегасники ВП-2(ОП-2) в кількості 2 шт.

При виникненні пожежі необхідно терміново викликати пожежну охорону, відвести в безпечне місце людей і приступити до гасіння пожежі засобами пожежогасіння (вогнегасники, пісок, лопата, багор, відро), дотримуючись правил техніки безпеки.

ТС оснащується первинними засобами пожежогасіння (вогнегасники, лопата, ящик з піском, багор, відро), що розташовані на пожежному щиті. Засоби пожежогасіння повинні відповідати вимогам “Інструкції по утриманню та застосуванню засобів пожежогасіння на підприємствах”.

В тому числі приміщення захищене щогловим блискавковідводом висотою 27 м. Блискавковідвід приєднується сталевую половою 20х4 мм до спеціального заземлювача, який складається з двох електродів довжиною 7,5 м, які з’єднуються між собою сталевую половою 20х4 мм.

Заземлювач блискавкозахисту приєднати до існуючого контуру заземлення. Опір заземлюючого пристрою більше 100 Ом.

Приміщення операторської обладнане електричною системою датчиків оповіщувальних типу ДЛТ, з’єднаних з прийомною станцією по променевій системі. При підвищенні температури легкозаймистий шар, що з’єднує кінці двох дротів, розплавляється, розривається електричний ланцюг і спрацьовує сигналізація. Також у операторській передбачений прямий телефонний зв’язок з пожежною охороною підприємства.

Паління дозволяється у відведених для цих цілей місцях.

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Анк
						80
Зам.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

Підходи до аварійних шаф, пожежних оповіщувачів, телефонів, пожежного інвентарю не допускається захаращувати сторонніми предметами, утримувати їх необхідно в чистоті та у справному стані.

					ЛП ЛА52.07.00.000. ПЗ	Арк
						81
Зам.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

Тема дипломного проекту «Автоматизація технічної системи для алкілування бензолу пропіленом у рідкій фазі» є досить актуальною з огляду на важливість алкілату для хімічної промисловості, який використовується багатьма галузями господарства держави.

Було розроблено схему автоматизації з використанням сучасних засобів автоматизації, що свідчить про вміння виконувати розрахунки засобів автоматизації. У проекті розроблено принципову електричну схему управління двигунами, схему аварійного захисту і технологічних блокувань та монтажно-комутаційну схему.

Проведено аналіз технологічного процесу з точки зору контролю і аварійного захисту процесу алкілування бензолу пропіленом у рідкій фазі.

Також буду обраховано моделювання технологічного процесу алкілятора з виробництва алкілату.

Розроблена математична модель статички.

Розроблена математична модель динаміки.

Дослідження вплив допущення на технологічний об'єкт.

Проведені технічні засоби для реалізації системи контролю.

Виконаний синтез керування з налаштуванням ПІ-регулятора.

Був побудований сигнальний граф для відображення динамічних характеристик.

Було виконано розрахунки по охороні праці.

По матеріалам теми дипломного проекту було надруковано три тези на міжнародній конференції.

Графічні матеріали використані на сучасному рівні, з використанням існуючих стандартів міжнародних і України.

					ЛП ЛА-52.07.00.000. ПЗ	Арк
						82
Зам.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лукінюк М. В. Технологічні вимірювання та прилади [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 436 с.
2. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с.
3. Ладієва.Л. Р. Оптимізація технологічних процесів.: Навчальний посібник.-К.: НМЦВО, 2003. – 209 С.
4. Краснощеков П.С. Принципы построения моделей. М.: Наука, 1983. – 205 С.
5. Методы выбора структуры математических моделей: Учебное пособие / Кононенко И.В., Сиренко А.Н. – Харьков, ХПИ, 1984. – 64 С.
6. Клуста Т. В. Алкілатор бензолу як технологічний об'єкт керування [Текст] / Т. В. Клуста, З. Я. Козаневич // V Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених, аспірантів і студ.(АКІТ – 2018), м. Київ, 11–12 квіт. 2018 р. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. – 168 с. – ISBN 978-966-622-884-3
7. Архангельський А.Я, Тагин М.А. Программирование в С++Builder 6 и 2006. – М.: ООО “Бином-Пресс”, 2007 г. – 1184 с.: ил.
8. Юкельсон И.И. Технология основного органического синтеза. – М.: “Химия”, 1968 г. – 848 с.
9. Архангельський А.Я. Программирование в С++ Builder 6. – М.: «Издательство БИНОМ», 2003 г. – 1152с.
10. Архангельский А.Я. С++Builder6. Справочное пособие. Книга 1. Язык С++. – М.: Бином-Пресс, 2002,544с.:ил.
11. А.І. Жученко, Л.Д. Ярощук «Спеціальні розділи математики для дослідження комп'ютерних систем» Київ «Політехнік» 2002р.

Специфікація устаткування, виробів та матеріалів

Додаток 1

Позиція на схемі	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Тип, марка моделі	Завод-виробник	Кількість, од.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Устаткування та прилади								
1-1	Витрата сипких	Трубопровід, хлорид алюмінію	___ " ___	Трубопровід 28;	Сенсор витратоміра для вимірювання витрати СИПКИХ РЕЧОВИН робоча частота 100 кГц, діапазон швидкостей сипкого продукту 1...10 м/с, граничнодопустима похибка $\pm 2...5\%$; робоча температура: електроніки сенсора (-20)...60 °С, процесу (труба сенсора) – (-20)...+80 °С (вище – на замовлення), робочий тиск – до 1,6 МПа (2,5 МПа)	Dens Flow-S	Компанія SWR engineering Messtechnik GmbH, Німеччина	1
3-1	Витрата	Трубопровід, бензол	___ " ___	Трубопровід 29;	Діафрагма камерна, $P_y = 0,6$ МПа, внутрішній діаметр трубопроводів 100 мм	ДКС 0,6–100	БАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ	3
6-1	Витрата	Трубопровід, ПАБ	___ " ___	Трубопровід 40;				
7-1	Витрата	Трубопровід, луг	___ " ___	Трубопровід 13;				
1-2	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий	Модуль обробки витратоміра для вимірювання витрати сипких речовин Dens Flow , робоча температура модуля обробки – (-10)...+45 °С; <i>вихідні</i>	DME 100	Компанія SWR engineering Messtechnik GmbH, Німеччина	1

Зм	Анк	№ локум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.07.00.000 ПЗ

					сигнали: витрата: 4...20 мА, швидкість: 4...20 мА, щільність: 4...20 мА, послідовний інтерфейс RS-485 (протокол Modbus), блок управління – РК-дисплей з підсвічуванням			
3-2 6-2 7-2	— " —	— " —	— " —	Місцевий	Вимірювальний тензоперетворювач перепаду тиску з блоком добування квадратного кореня, $\Delta P_{\max} = 0,4$ МПа, температура 5...50 °С, матеріал мембрани – сплав 36НХТЮ, граничнодопустима основна похибка 0,25 %; $I_{\text{вих}} = 0...5$ мА; 4...20 мА, клас точності 0,1 різниці тиску з квадратичною функцією перетворення, $P_{\text{доп.}} = 2,5$ МПа, Гранично допустима похибка $\pm 0,25$ %, $I_{\text{вих}} = 4...20$ мА	Сапфір 22ДД 2450	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ	3

Зм	Анк	№ док.м.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.07.00.000 ПЗ

1-3 3-3 6-3 7-3	— " —	— " —	— " —	Пульт керування	Автоматичний показувальний і ресс-травальний вторинний прилад з пристроєм сигналізації; вхідні сигнали: 0...50 мВ, 0...100 мВ, 0...5 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М, клас точності 0.5	ДИСК-250ДД	ЗАТ «Промислова група „Метран”», м. Челябінськ	4
2-1	Температура	Алкілатор бензолу	85 °С	Алкілатор бензолу 10	Термоперетворювач опору платиновий НСХ 50П, діапазон вимірювання (-50)...120 °С, $P_{\max} = 25$ МПа, довжина монтажноі частини 20...400 мм, захисна арматура – латунь Л62; інерційність 20 с, клас допуску А, В	ТСП-1388	НВО «Електротермія», Приладобудівний з-д, м. Луцьк	1
4-1	Температура	Підігрівник	40 °С	Підігрівник 4	Термоперетворювач опору платиновий, НСХ 50П, діапазон вимірювання (-50)...60 °С, $P_{\max} = 25$ МПа, довжина монтажноі частини 200...3150 мм, захисна арматура – сталь	ТСП-1288	НВО «Електротермія», Приладобудівний з-д, м. Луцьк	2

Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.07.00.000 ПЗ

Арк.

86

					8Н10Т; інерційність 30 с, клас допуску 2			
8-1	Температура	Конденсатор	20 °С	Конденсатор 13	Термоперетворювач опору мідний з уніфікованим вихідним сигналом, НСХ 50М, захисна арматура – сталь 10Х18Н10Т, діапазон вимірювання (-25)...25 °С, $P_{\max} = 50$ МПа, довжина монтажної частини 200...1250 мм; основна похибка 0,5 %; $I_{\text{вих}}=0...5$ МА	ТСМУ-0288	НВФ «АГАТ-1», м. Харків	1
4-2 8-2	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Пульт керування	Автоматичний показувальний і реєс- трувальний вторинний прилад з пристроєм сигналізації; вхідні сигнали: 0...50 мВ, 0...100 мВ, 0...5 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М, клас точності 0.5	ДИСК-250	ЗАТ «Промислова група „Метран”», м. Челябінськ	2
5-1	Температура	Трубопровід, ПАБ	35°С	Трубопровід 29	Термоперетворювач опору платиновий ТСП-1287 (НСХ 100П), діапазон вимірювання: 0...500 °С, довжина монтажної частини 320...500 мм; матеріал	ТСП-1287	НВО «Електротермія», м. Луцьк	1

Зм	Анк	№ локум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.07.00.000 ПЗ

Арк.

87

					захисної арматури – сталь 12Х18Н10Т; умовний тиск $P_y = 2,5$ МПа; клас допуску B			
5-2	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий	Перетворювач нормувальний одноканальний Ш79, клас точності 0,4; $I_{вих} = 0...5$ мА	Ш79	ПО «Мікроприбор», м. Львів	1
5-3	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Місцевий	Аналого-цифровий перетворювач АЦП2, $I_{вх} = 0...5$ мА, 0(4)...20 мА, 0...10 В; клас точності 0,25	АЦП2	«ПРОСОФТ», м. Москва	1
5-4	___ " ___	___ " ___	___ " ___	Щит керування	Індикатор технологічний мікропроцесорний (цифровий) двоканальний ІТМ-12; вхідні сигнали: дискретні; цифрова індикація; технологічна сигналізація; цифровий інтерфейс RS-485, вихід $AO1 = 4...20$ мА, клас точності 0,2	ІТМ-12	ВАТ «Підприємство «МІКРОЛ»», м. Івано-Франківськ	1
9-1	Концентрація	Трубопровід	90 %	Трубопровід	Первинний (проточний) перетворювач кондуктометричного аналізатора рідини АЖК-1 з пристроєм сигналізації ; діапазон вимірювання 0...10, 0...100, 0...1000 мСм/см;	АЖК-3101.1	НВО «Автоматика», м. Володимир	1

Зм	Анк	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.07.00.000 ПЗ

					температура робочого середовища 0...100 °С, тиск до 1 МПа, термокомпенсація забезпечується у межах ± 15 °С; $I_{\text{вих}} = 0...5$ і $4...20$ мА			
9-2	— " —	— " —	— " —	Пульт керування	Вторинний прилад кондуктометричного аналізатора рідини кондуктометричного АЖК-1; граничнодопустима осн. зведена похибка аналізаторів питомої електропровідності – до 2 %, аналізаторів концентрації – до 5 %; додаткова похибка не перевищує 0,5 граничнодопустимої основної; оснащений пристроєм сигналізації	АЖК-3101.2	НВО «Автоматика», м. Володимир	1
Електроапарати								
МП1, МП2		Насос		Місцевий	Пускач магнітний безконтактний нереверсивний з тепловим реле РТТ-326 136-160А, кнопками «ПУСК» і «СТОП» для керування	ПМ12-160210 У2 В	ВАТ «Кашинский завод электроаппаратуры», м. Москва	2

Зм	Арк	№ локум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.07.00.000 ПЗ

					трифазними асинхронними електродвигунами з короткозамкнутим ротором; номінальний робочий струм 160 А; додаткові контакти: 2 н. р. і 2 н. з.; номінальна робоча напруга 220, 380, 660 В, номінальна потужність 45 кВт; можуть застосовуватись у схемах з мікропроцесорною технікою			
SA1, SA2				Місцевий	Кнопка запобіжного вимикання; номінальна робоча напруга: змінна (частота 50/60 Гц) 660 В, постійна – 440 В, номінальний тепловий струм – 10 А	КМЕ-5111У	ТОВ «Кам'янець- Подільський електромеханічний завод»	2
HL1, HL2, HL3,				Пульт керування	Лампа сигнальна світлодіодна із жовтим індикатором	СКЛ- 11-Ж-2-220	ВАТ «Кашинский завод электроаппаратуры	6

Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.07.00.000 ПЗ

HL4, HL5, HL6,					$U_{\text{жив}} = 220 \text{ В}, 50/60 \text{ Гц},$ $d = 27 \text{ мм},$ сила світла 20 мКд		», м. Москва	
HL7, HL9.				Пульт керування	Лампа сигнальна світлодіодна із червоним індикатором («СТОП»), $U_{\text{жив}} = 220 \text{ В},$ $50/60 \text{ Гц}, d = 27 \text{ мм},$ сила світла 20 мКд	СКЛ- 11-К-2-220	ВАТ «Кашинский завод электроаппаратуры », м. Москва	2
HL8, HL10.				Пульт керування	Лампа сигнальна світлодіодна із зеленим індикатором («ПУСК»), $U_{\text{жив}} = 220 \text{ В}, 50/60 \text{ Гц}, d =$ $27 \text{ мм},$ сила світла 20 мКд	СКЛ- 11-3-2-220	ВАТ «Кашинский завод электроаппаратуры », м. Москва	2
SB1,SB2, SB3,SB4				Пульт керування	Пост управління кнопочвий, кількість елементів управління – 2; номінальна напруга ізоляції (за змінного струму частотою $50/60 \text{ Гц}$) 660 В, номінальний тепловий струм 10 А; температура довкілля від $(-40) ^\circ\text{C}$ до 40 $^\circ\text{C}$, відносна вологість повітря 98 %, комутаційна зносостійкість 1 000 000 циклів	ПКУ 15- 21-131 УЗ	ЗАТ «Променергоавтома тика», м. Київ	4

Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА52.07.00.000 ПЗ